INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

VERDADES, MENTIRAS E INCERTIDUMBRES: COMPRENDER EL MUNDO EN TIEMPOS DE CONFUSIÓN

NOVIEMBRE 2019 N.º 518

NÚMERO MONOGRÁFICO

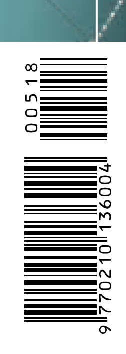
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Noviembre 2019 • N.º 518 • 6,90 € • investigacionyciencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

VERDADES MENTIRAS E INCERTIDUMBRES

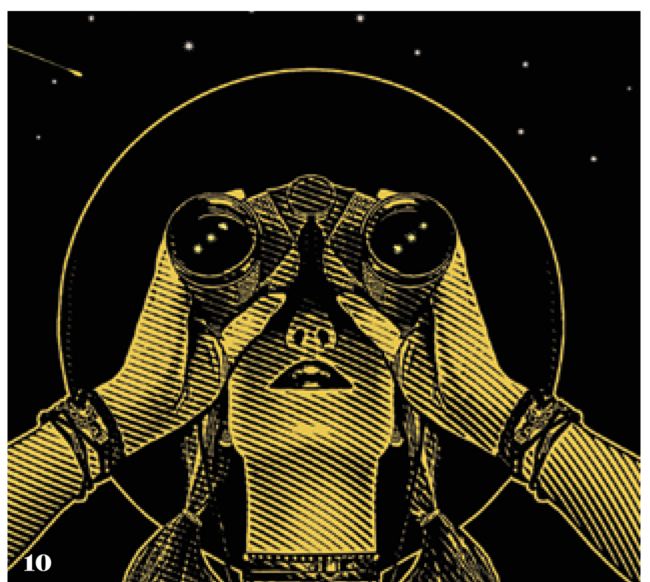
COMPRENDER EL MUNDO EN TIEMPOS DE CONFUSIÓN



• NÚMERO MONOGRÁFICO •
VERDADES, MENTIRAS E INCERTIDUMBRES

INVESTIGACIÓN Y
CIENCIA
Noviembre 2019, Número 518


8


10

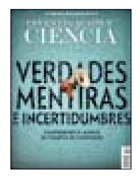

84

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

EN PORTADA

La manera que tiene la ciencia de aproximarse a la realidad es inseparable de la noción de incertidumbre. Pero ¿sabemos qué significa este concepto y cómo manejarlo? ¿Cómo afecta a la ciencia básica? ¿Se ve afectada la incertidumbre por la forma en que nuestro cerebro crea modelos del mundo? ¿Cómo influye en las relaciones humanas y en la dinámica de un mundo cada vez más conectado y dirigido por datos? Ilustración de Red Nose Studio.



redaccion@investigacionyciencia.es



Junio y julio de 2019

GRAVEDAD CUÁNTICA

«Gravedad cuántica en el laboratorio», de Tim Folger [Investigación y Ciencia, junio de 2019], menciona el experimento del siglo xviii en el que Henry Cavendish midió la masa de la Tierra. La inspiración para ese estudio provino del trabajo de Charles Mason y Jeremiah Dixon, quienes intentaban establecer la frontera entre Pensilvania y Maryland. Cavendish se percató de que sus plomadas se habían visto afectadas por los montes de Allegheny.

Mark Arnold

Folger explica que uno de los principales problemas para observar efectos cuánticos de la gravedad es «la necesidad de llevar grandes objetos a estados de superposición que duren unos segundos y mantenerlos lo bastante juntos para que la gravedad pueda entrelazarlos». Lograr eso con esferas de diamante de pocos micrómetros reviste gran dificultad, ya que la gravedad de la Tierra es enorme en comparación con la de dichos objetos. Y si las esferas se dejan caer, la longitud que deben recorrer aumenta con el cuadrado de la duración requerida.

Sin embargo, tales mediciones podrían llevarse a cabo en un entorno ingrávido, como el de la Estación Espacial Internacional. En tal caso, el experimento podría prolongarse durante un día o más y podría repetirse múltiples veces.

Robert H. Beeman
Coral Springs, Florida

¿Por qué debería la gravedad existir a nivel cuántico?

Bill Yancey
St. Augustine, Florida

Responde Folger: *Consideré comenzar mi artículo con una anécdota similar a la que relata Arnold. A principios de la década de 1770, el científico británico Nevil Maskelyne viajó hasta el monte Schiehallion, en Escocia, para comprobar si su masa desviaría una plomada y, en tal caso, usar el fenómeno para estimar la densidad de la Tierra. El resultado, calculado por el matemático Charles Hutton a partir de los datos de Maskelyne, se desviaba en un 20 por ciento del valor aceptado hoy. El trabajo de Maskelyne muestra lo ingenioso que fue Cavendish: su experimento no requería usar una montaña como masa de prueba, sino solo las pesadas esferas de su cobertizo.*

En cuanto a la sugerencia de Beeman, varios físicos han propuesto una misión espacial, MAQRO, para llevar a cabo ese tipo de superposiciones cuánticas en el espacio. Sin embargo, dicho proyecto aún no ha recibido financiación.

En respuesta a Yancey: si la gravedad no existe a nivel cuántico, ¿por qué aparece en nuestro nivel? La naturaleza fundamental de la gravedad es justo lo que intentan elucubrar estos experimentos.

LUNAS Y PARADOJA DE FERMI

«El origen de la Luna», de Simon J. Lock y Sarah T. Stewart [Investigación y Ciencia, julio de 2019], plantea que nuestro satélite se formó a partir de una masa de roca vaporizada con forma de rosquilla, una «sinestia», tras la colisión de la proto-Tierra con un cuerpo del tamaño de Marte.

La paradoja de Fermi se pregunta por qué, habiendo tantos planetas en la galaxia, aún no hemos detectado signos de una civilización extraterrestre. Al respecto se han sugerido numerosas respuestas, pero una de las menos rebuscadas es la hipótesis de la «Tierra exótica»: puede que no haya otras civilizaciones porque las condiciones que han permitido la evolución del ser humano en nuestro planeta son extremadamente improbables. Una de tales condiciones es la existencia de un satélite de gran tamaño que estabilice el eje de rotación de la Tierra, ya que un eje inestable habría implicado fluctuaciones climáticas extremas.

Lock y Stewart afirman que las sinestias podrían ser habituales en otros sistemas planetarios. ¿Aumenta ello la posibilidad de que existan «sistemas duales», como el que forman la Tierra y la Luna?

John Takao Collier

Responden los autores: *Aunque las sinestias son comunes, no todas ellas dan lugar a una luna de gran tamaño. Las sinestias se dan en una amplia variedad de formas, tamaños y estados térmicos y de rotación. Por su parte, las dimensiones de un satélite dependen de la cantidad de masa que el fenómeno inyecte en las órbitas exteriores del planeta. Solo una pequeña fracción de los impactos aportará la masa suficiente para generar una luna voluminosa. Aún seguimos examinando el abanico de condiciones que podrían permitirlo.*

Las sinestias constituyen una aportación más a la gran pregunta de hasta qué punto es exótica la vida en la Tierra. Si un «sistema dual» como el nuestro es común o no sigue siendo una incógnita. Aún hemos de entender cuáles de las características especiales de nuestro planeta se determinaron durante su formación.

Errata corrige

El artículo **¿A quién pertenece el Ártico?** [por Mark Fischetti; Investigación y Ciencia, octubre de 2019], definía el pie de un talud continental como el punto de mayor pendiente. En realidad, se trata del punto en el que el cambio en la pendiente es máximo.

Como apunta nuestro lector Santiago Martí Santos, el artículo **Einstein, Newton o Pasteur no eran unos Santos** [por Yannick Fonteneau; Investigación y Ciencia, octubre de 2019], data erróneamente en 1771 el año álgido del enfrentamiento entre Newton y Flamsteed. La fecha correcta es 1711.

Estos errores han sido enmendados en la edición digital de los artículos correspondientes.

CARTAS DE LOS LECTORES

Investigación y Ciencia agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:
PRENSA CIENTÍFICA, S. A.
Muntaner 339, pral. 1.ª, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. Investigación y Ciencia se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.



UNA CARAVANA recorre las dunas saharianas de Libia.




GEOLOGÍA

El nacimiento del Sáhara

El polvo hallado en las islas Canarias revela la antigüedad de este desierto

Pese a ser el desierto subtropical más extenso y legendario del planeta, el conocimiento del Sáhara es sorprendentemente limitado. En particular, las estimaciones relativas al momento de su formación varían de manera extraordinaria, con cifras que van desde varios millones de años de antigüedad hasta apenas unos milenios. Ahora, un equipo de geólogos ha estudiado el polvo sahariano que, transportado por el viento, ha llegado hasta las islas Canarias. Sus conclusiones apoyan la idea de que la edad del desierto rondaría los cinco millones de años.

La incertidumbre sobre la antigüedad del Sáhara se debe en parte a los distintos métodos usados para calcularla. Entre ellos figuran el estudio del polvo desértico hallado en los sedimentos del fondo del Atlántico, el análisis de areniscas y la elaboración de modelos paleoclimáticos. Para abordar la cuestión, una colaboración liderada por Daniel Muhs, del Servicio de Inspección Geológica de EE.UU., y en la que han participado Joaquín Meco, de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), y Alejandro Lomoschitz, del Instituto de Oceanografía y Cambio Global de la ULPGC, ha investigado varios sedimentos de Fuerteventura y Gran Canaria donde se habían hallado indicios de polvo sahariano. Este se encontraba en estratos antiguos, cuya edad determinaron a partir de los fósiles que contenían. Al hacerlo, pudieron comprobar que dicha edad coincidía con la arrojada por los sedimentos marinos. El hallazgo se publica este mes de noviembre en *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*.

«La conclusión es muy buena», afirma Zhongshi Zhang, experto en modelos climáticos de la Universidad de Bergen que no participó en el estudio. Dado que el polvo de las islas es distinto del encontrado en el registro marino, el trabajo refuerza la hipótesis de una edad de varios millones de años.

El Sáhara constituye la mayor fuente de partículas de polvo atmosféricas del planeta. Pero el viaje de ese polvo no finaliza en las Canarias: continúa hasta regiones tan distantes como el Caribe o la selva amazónica, apunta Muhs. Los suelos amazónicos son pobres en nutrientes. El nuevo resultado apoya la idea de que el polvo africano pudo haber contribuido a la enorme biodiversidad de la región sudamericana a lo largo de millones de años, lo que a su vez arroja luz sobre el origen de la propia Amazonia. —*Lucas Joel*

ANNA SERDYUK, GETTY IMAGES

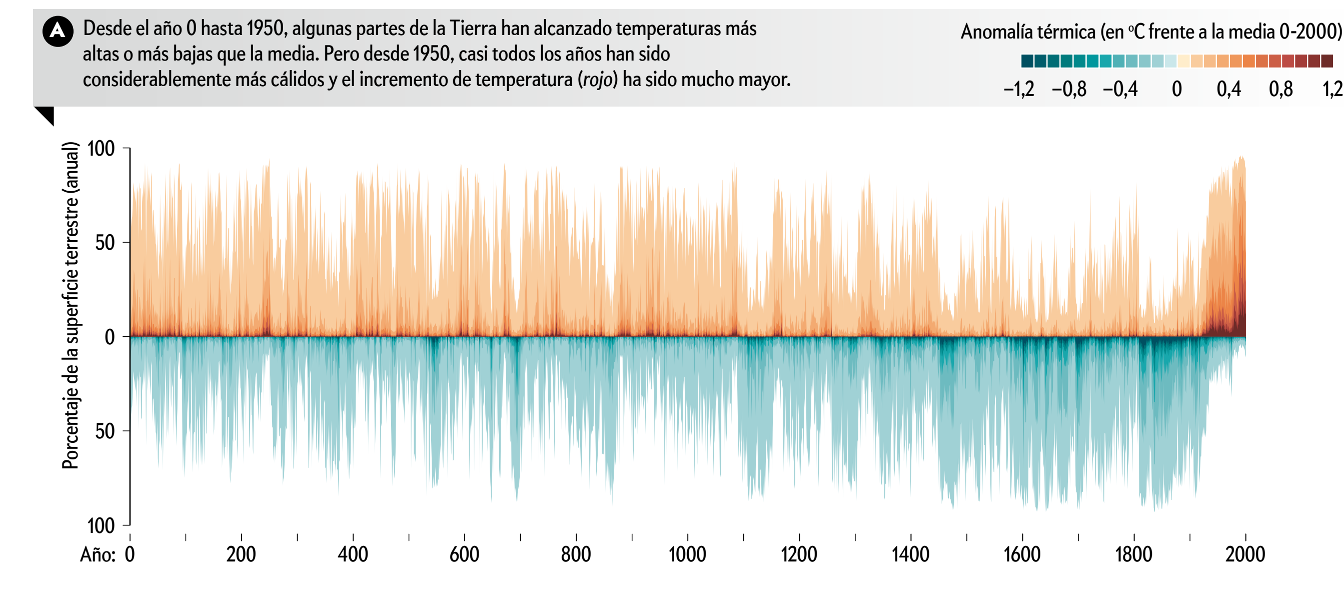
CLIMA

El argumento climático definitivo

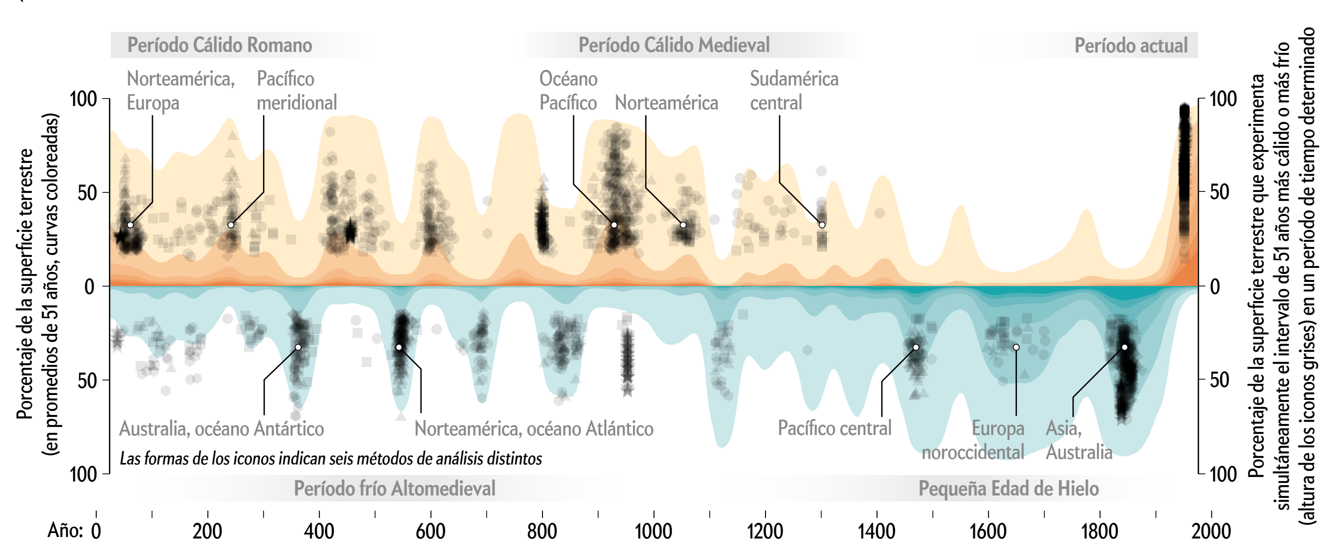
Nuevos datos refutan que el calentamiento global se deba a ciclos naturales

Texto de Mark Fischetti | Gráficos de Pitch Interactive

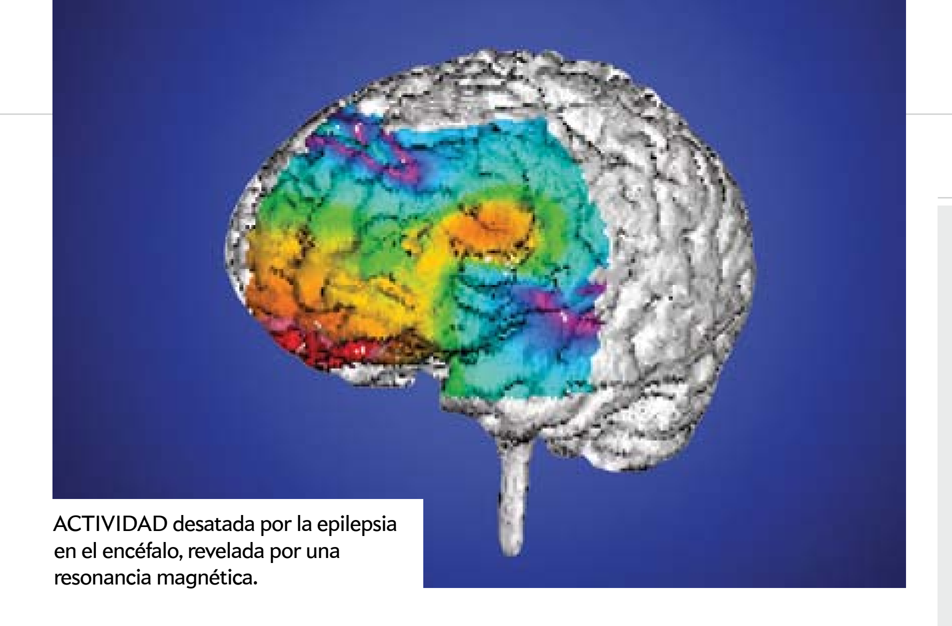
Quienes rechazan el cambio climático antropogénico afirman que el calentamiento actual forma parte de la variabilidad natural del clima. Ahora, un artículo publicado en *Nature* parece haber zanjado ese debate. Un grupo dirigido por el investigador de la Universidad de Berna Raphael Neukom y del que ha formado parte Juan José Gómez-Navarro, de la Universidad de Murcia, ha demostrado que, durante los últimos dos milenios, los años cálidos y fríos se han ido alternando de manera uniforme **A** y los episodios extremos se dieron en regiones aisladas, no en todo el planeta a la vez **B**. Por ejemplo, la llamada Pequeña Edad de Hielo ocurrió en el siglo XV en el Pacífico, en el XVII en Europa y en el XIX en otras regiones. De igual modo, El Periodo Cálido Medieval tuvo lugar en el siglo X en el Pacífico, en el XI en Norteamérica y en el XIII en Sudamérica. Sin embargo, desde 1900 hasta hoy el calentamiento ha sido sincrónico en el 98 por ciento del planeta. Todas las regiones lo han experimentado de manera continua y al unísono. «Es totalmente distinto», afirma Neukom.



B Los iconos reflejan 600 análisis de 210 conjuntos de datos procedentes de corales, glaciares, sedimentos lacustres y otros indicadores de todo el mundo. Hasta 1950, solo algunos se agrupan en periodos de tiempo concretos, y no más del 70 por ciento de la Tierra muestra un calentamiento o enfriamiento simultáneo. Desde entonces, el calentamiento ha afectado al 98 por ciento del planeta: una variación antinatural.



FUENTE: «NO EVIDENCE FOR GLOBALLY COHERENT WARM AND COLD PERIODS OVER THE PREINDUSTRIAL COMMON ERA», POR RAPHAEL NEUKOM ET AL. EN *NATURE*, VOL. 571, 25 DE JULIO DE 2019



ACTIVIDAD desatada por la epilepsia en el encéfalo, revelada por una resonancia magnética.

MEDICINA

Prever los ataques de epilepsia

Ciertas moléculas en la sangre advertirían de las crisis con horas de antelación

En el mundo hay más de 50 millones de personas que sufren epilepsia. Uno de los peores aspectos es su imprevisibilidad: el afectado rara vez sabe en qué momento sobrevendrá una crisis.

La bióloga molecular Marion Hogg, de FutureNeuro, un instituto de investigación alojado en el Real Colegio de Cirugía de Irlanda, y sus colaboradores han descubierto que la concentración sanguínea de ciertas moléculas varía antes y después de los ataques. Este descubrimiento puede conducir a un análisis de sangre que valore la inminencia de una crisis, de modo que el paciente prevenido pueda tomar un antiepiléptico de acción rápida. Publicado en julio en *Journal of Clinical Investigation*, el estudio incluso podría brindar pistas sobre las causas de este trastorno neurológico.

Al analizar muestras de plasma sanguíneo de personas epilépticas, el equipo ha descubierto que ciertos fragmentos del ARN de transferencia (ARNt, molécula que interviene en la traducción del ARN mensajero en proteínas) parece repuntar horas antes de la crisis para retornar después de ella a la normalidad. Tales fragmentos aparecen cuando una serie de enzimas trocean los ARNt como respuesta al estrés, posiblemente desatado por el aumento de la actividad del encéfalo que precede al ataque.

El neurólogo Mark Cook, del Hospital St. Vincent de Melbourne, ajeno al estudio, afirma que las fluctuaciones del ARNt podrían obedecer a un ritmo biológico interno. «En los adultos con epilepsia crónica observamos ciclos de 7, 28 o 40 días. Esos patrones controlan la excitabilidad del encéfalo y hacen que el paciente sea más o menos propenso a las crisis», explica. «Los nuevos hallazgos podrían mejorar, en última instancia, nuestro conocimiento acerca de las causas de la epilepsia. No sabemos qué controla los ciclos, pero los datos pueden indicarnos que existen genes reguladores que generarían esos fragmentos y permitirían predecir las crisis. Es muy interesante porque no solo revela algo sobre la epilepsia, sino sobre el funcionamiento del cerebro.»

El grupo de Cook ya había logrado pronosticar las crisis epilépticas monitorizando la actividad encefálica, pero el procedimiento exige pasar por el quirófano. Los investigadores de FutureNeuro trabajan ahora en un detector capaz de analizar la gota de sangre que brota del dedo con una leve punción, como un glucosímetro. El análisis experimental exige un volumen relativamente grande de plasma sanguíneo, por lo que una de las prioridades es diseñar un aparato que funcione con volúmenes pequeños y sangre entera. «Prevemos que estará disponible para los pacientes en un plazo de cinco años», afirma Hogg.

La anticipación mejoraría notablemente la vida cotidiana de los epilépticos. «Si tienen indicios de que pueden sufrir un ataque, quizá no vayan a trabajar ese día, ni se pondrán al volante, ni irán a nadar», afirma. Y aunque algunos antiepilépticos son de acción rápida, la mayoría solo sirve para el control crónico, y casi un tercio de los pacientes no responde a ellos. Cook afirma que la predicción fiable de las crisis fomentará el desarrollo de fármacos de acción inmediata, lo que a su vez podría redundar en menos efectos secundarios que la toma diaria.

—Simon Makin

SCIENCE SOURCE *(cerebro)*; NASA

AGENDA

CONFERENCIAS

11 de noviembre
La biosfera y el Antropoceno
Jaume Terradas, Universidad Autónoma de Barcelona
Ciclo sobre Ramon Margalef
Biblioteca Camp de l'Arpa-Caterina Albert
Barcelona
ajuntament.barcelona.cat

12 de noviembre
Entrenando a tus defensas: Aportaciones de la inmunoterapia a la cura y prevención de enfermedades
Alfredo Corell, Universidad de Valladolid
Museo de la Ciencia, Valladolid
www.museocienciavalladolid.es

14 de noviembre
El fin de los problemas imposibles
Rubén Ruiz García, Universidad Politécnica de Valencia
Museo de las Ciencias, Valencia
www.cac.es

21 de noviembre
El destino de la Tierra y el universo
Alberto Castro-Tirado, Instituto de Astrofísica de Andalucía
Planetario de Madrid
Madrid
www.planetmad.es



EXPOSICIONES

Hasta el 21 de noviembre
La tabla periódica: Un icono científico, social y cultural
CRAI Biblioteca de Letras
Barcelona
www.taulaperiodica.cat

OTROS

9 de noviembre — Charlas
La ciencia del futuro
Teatro Zorrilla
Valladolid
naukas.com

Del 20 al 23 de noviembre — Jornadas
Desgranando la Ciencia 6
Facultad de Ciencias
Universidad de Granada
Granada
granada.hablandodeciencia.com

Un banco de peces fosilizado

Una losa de piedra deja entrever que la dinámica de los cardúmenes de hace 50 millones de años se regía por las mismas reglas que hoy

5 mm

La muerte fulminante de un grupo de alevines que nadaba velozmente en las aguas de un lago, hace unos 50 millones de años, está ayudando a los paleontólogos a desentrañar aspectos del comportamiento social primitivo. La causa última se desconoce, pero sus cuerpos quedaron «congelados» en el tiempo al instante.

Nobuaki Mizumoto, de la Universidad Estatal de Arizona en Tempe, y sus colaboradores examinaron una losa procedente del oeste de Estados Unidos que albergaba los restos fósiles de 257 individuos de un pez hoy extinto (*Erismatopterus levatus*), apiñados en un cardumen compacto. El equipo analizó la ubicación y la orientación de cada uno de ellos y, a continuación, modelizó dónde habría estado situado cada individuo justo después del instante preservado en la losa.

Los resultados, publicados en *Proceedings of the Royal Society B* el pasado mayo, demuestran que ya entonces los peces seguían dos normas adoptadas por sus homólogos modernos y que pueden describirse como «repulsión» y «atracción». Cada individuo mantenía una mínima distancia con respecto a sus compañeros más cercanos (para evitar las colisiones), pero tendía a nadar hacia los más alejados, lo cual facilitaba la cohesión del grupo. Como los bancos contemporáneos, el cardumen fosilizado poseía una forma alargada que habría ayudado a sus integrantes a burlar a los depredadores.

—La redacción

Artículo original publicado en *Nature*, 28 de mayo de 2019. Traducido con el permiso de Nature Research Group © 2019

Con la colaboración de nature

FUENTE: «INFERRING COLLECTIVE BEHAVIOUR FROM A FOSSILIZED FISH SHOAL». NOBUAKI MIZUMOTO, SHINYA MIYATA Y STEPHEN C. PRATT EN *PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B*, MAYO DE 2019 (ROYALSOCIETYPUBLISHING.ORG/DOI/10.1098/RSPB.2019.0891); SHINYA MIYATA, UNIVERSIDAD JOSAI (*fotografía*)



Si eres investigador en el campo de las ciencias de la vida y la naturaleza, y tienes buenas fotografías que ilustren algún fenómeno de interés, te invitamos a participar en esta sección. Más información en **www.investigacionyciencia.es/decerca**

ESTOS PECES PRIMITIVOS nadaban en formación cerrada, lo que les habría ayudado a eludir a sus enemigos.

por Jaime Nubiola

Jaime Nubiola es catedrático de filosofía en la Universidad de Navarra.



La lógica de la creatividad científica

El falibilismo y la abducción de Charles S. Peirce

Durante décadas, la figura y el pensamiento del científico y filósofo estadounidense Charles S. Peirce (1839-1914) estuvieron prácticamente relegados al olvido. Pero desde finales del siglo pasado hay un estallido de interés en sus valiosas contribuciones, que están adquiriendo una relevancia creciente en muy distintas áreas. Christopher Hookway, experto en la obra de Peirce, lo define como un filósofo tradicional y sistemático, pero que, al mismo tiempo, abordaba los problemas modernos de la ciencia, la verdad y el conocimiento desde una valiosa experiencia personal como lógico e investigador experimental en el seno de la comunidad científica internacional. Es así. Pero me parece todavía más certero considerar a Peirce como un filósofo que, después de un tedioso trabajo de observación e investigación científicas y de un concienzudo estudio de la historia de la ciencia y de la filosofía, se propuso desentrañar cuál era realmente la lógica de la ciencia, la lógica de la práctica científica.



El pensamiento de Peirce estuvo marcado por el pragmatismo. Esta doctrina, que nació como un método lógico para esclarecer conceptos y que llegó a convertirse en la corriente filosófica más importante en Norteamérica durante el último tercio del siglo xix y el primero del xx, ha vivido una reciente eclosión gracias al trabajo de Hilary Putnam, Richard Rorty y Susan Haack [*véase* «El mundo de las pruebas. La filosofía de la ciencia de Susan Haack», por Ana Luisa Ponce Miotti; Investigación y Ciencia, noviembre de 2017].

La clave de la filosofía de la ciencia de Peirce es el falibilismo, esto es, el reconocimiento de que una característica irreductible del conocimiento humano es la falibilidad: *Errare hominum est.* A su juicio, la búsqueda de fundamentos inconmovibles para el saber humano, típica de la modernidad, ha de ser reemplazada por una aproximación experiencial y multidisciplinar que puede parecer más modesta, pero que, a la larga, será mucho más eficaz, tal como ha mostrado la propia historia de la ciencia. El falibilismo no es una táctica, sino más bien el resultado del método científico ganado históricamente. Además, el falibilismo es intrínsecamente social: el investigador forma siempre parte de una comunidad a la que contribuye con sus aciertos e incluso con sus fracasos, pues estos sirven a otros para llegar más lejos que él hasta completar el asalto de la ciudadela de la verdad trepando sobre los cadáveres de las teorías y experiencias fallidas.

Peirce insiste en que la imagen de la ciencia como algo completo y acabado es del todo opuesta a lo que la ciencia es en realidad. El fenómeno que más le impresiona es la generación de nuevas hipótesis que resultan decisivas para el avance científico. En cierto sentido, esta capacidad instintiva para alcanzar la verdad es el complemento o el anverso del falibilismo antes mencionado. Para Peirce, esta es la cuestión realmente relevante que se encuentra en la base de todo el edificio científico: ¿por qué acertamos y por qué lo hacemos de forma relativamente tan fácil? Peirce acude con frecuencia a la expresión que atribuye a Galileo de *il lume naturale* para dar cuenta de nuestra formidable capacidad para seleccionar de entre una infinidad de hipótesis aquella más simple, aquella a la que nuestra razón se inclina de forma instintiva. La capacidad de conjeturar no es ni ciega ni infalible, es una capacidad instintiva, análoga a los instintos animales que capacitan a un pájaro o a una avispa para volar.

Peirce acuña los términos «retroducción», o razonamiento hacia atrás, y «abducción», para referirse al proceso de adopción de hipótesis. El estudio de esta operación de la imaginación creadora llega a tener tanta importancia para él que no duda en escribir que la cuestión del pragmatismo es la cuestión de la lógica de la abducción. He aquí uno de sus textos:

La abducción es aquella clase de operación que sugiere un enunciado que no está en modo alguno contenido en los datos de los que procede. Hay un nombre más familiar para ella que el de abducción, pues no es ni más ni menos que adivinar (guessing). *Un determinado objeto presenta una combinación extraordinaria de caracteres para la que nos gustaría una explicación. El que haya una explicación de ellos es una pura suposición; y, si la hay, es algún hecho escondido el que los explica; mientras hay, quizás, un millón de otros modos posibles de explicarlos, si no fueran todos ellos, desafortunadamente, falsos.*

GETTY IMAGES/GEORGEPETERS/ISTOCK

Un hombre aparece en las calles de Nueva York acuchillado por la espalda. El jefe de policía podría abrir un directorio, poner su dedo en un nombre cualquiera y adivinar que aquel es el nombre del asesino. ¿Cuánto valdría esa adivinación? Pues el número de nombres del directorio ni se acerca siquiera a la multitud de posibles leyes de atracción que hubieran dado cuenta de las leyes de Kepler del movimiento de los planetas y que, por delante de la verificación mediante la predicción de perturbaciones, etc., las habrían explicado a la perfección. Newton, se dirá, supuso que la ley sería una sola y simple. Pero, ¿cómo llegó a esto sino acumulando adivinación sobre adivinación?

Cualquier novato en lógica puede sorprenderse de que Peirce llame inferencia a una adivinación. Es igual de fácil definir la inferencia de modo que excluya o de modo que incluya la abducción. Pero todos los objetos de estudio lógico han de ser clasificados y no hay otra clase mejor en la que poner la abducción que la de las inferencias. Muchos lógicos, sin embargo, la dejan sin clasificar, a modo de un supernumerario lógico, como si no fuera lo bastante importante como para tener derecho a un lugar propio. Ellos evidentemente olvidan que ni la deducción ni la inducción pueden jamás añadir lo más mínimo a los datos de la percepción.

Como decíamos, lo que le impresiona a Peirce es la aparición de nuevas ideas en ciencia, algo simplemente inexplicable en un marco mecanicista. Se trata del fenómeno de la creatividad científica en el que se articulan abducción, deducción e inducción. A la abducción le corresponde el papel de introducir nuevas ideas: la creatividad, en una palabra. La deducción extrae las consecuencias necesarias y verificables que deberían seguirse de ser cierta una hipótesis, y la inducción confirma experimentalmente esa hipótesis. Son tres clases de razonamiento que no discurren de modo independiente o paralelo, sino integrados y cooperando en las fases sucesivas del método científico.

El inicio de la investigación es siempre la abducción. Es la hipótesis la que indica qué experimentos hay que hacer, adónde hay que mirar. Si no tiene una hipótesis previa, el científico no puede determinar qué tipo de experimento debe realizar para proseguir su investigación. Por eso, resulta cuando menos llamativo que la mayoría de los filósofos de la ciencia que analizan el método hipotético-deductivo ignoren casi siempre el problema del origen de las hipótesis. Para ellos, el método científico comienza en el momento en que ya se dispone de una teoría, que será confirmada o refutada según el resultado de los experimentos, pero el origen mismo de las nuevas ideas les parece una cuestión propia de la psicología o de la sociología del conocimiento, en todo caso ajena a la lógica; es para ellos, como decía Peirce, un supernumerario lógico.

Es la actitud, no el método, lo que distingue a la ciencia de la no ciencia

Peirce concibió la investigación científica como una actividad colectiva y cooperativa de todos aquellos cuya vida está animada por «el deseo sincero de averiguar la verdad, sea cual sea». La ciencia era para él «una entidad histórica viva», «un cuerpo vivo y creciente de verdad». Ya en sus primeros años, en su artículo «Algunas consecuencias de cuatro incapacidades», Peirce había identificado a la comunidad de los investigadores como esencial para la racionalidad científica. El florecimiento de la razón científica solo puede tener lugar en el contexto de comunidades de investigación: la búsqueda de la verdad es una tarea corporativa y cooperativa, no una labor individualista tal como la concibió el pensamiento moderno. Así lo describe en un texto de 1902:

La ciencia ha de significar para nosotros un modo de vida animado por el único propósito de descubrir la verdad real, que persigue este propósito mediante un método bien considerado, basado en una completa familiaridad con todos los resultados científicos adquiridos por otros que pueda haber disponibles, y que busca la cooperación con la esperanza de que la verdad pueda ser encontrada, si no por alguno de los buscadores del presente, al menos en última instancia, por aquellos que vengan detrás y que hagan uso de sus resultados.

Así pues, Peirce define la ciencia como una búsqueda diligente de la verdad por la verdad misma, desarrollada por una comunidad de investigadores, hábiles en el manejo de unos instrumentos particulares y entrenados en unos determinados modos de percibir y pensar. Es precisamente esta actitud científica, y no el método, lo que distingue a la ciencia de la no ciencia.

Las ciencias son tradiciones de investigación que se han desarrollado tanto en el espacio como en el tiempo. Para Peirce, «la ciencia no avanza mediante revoluciones, guerras y cataclismos, sino a través de la cooperación, el aprovechamiento por parte de cada investigador de los resultados logrados por sus predecesores, y la articulación en una sola pieza continua de su propio trabajo con el que se ha llevado a cabo previamente». La ciencia es un modo de vida, un arte transmitido de maestros a aprendices.

Por esta razón, para Peirce la clave del avance del conocimiento y del desarrollo de las ciencias no es la revolución, sino la comunicación. La comunicación entre los miembros de una comunidad resulta esencial para el escrutinio de la evidencia y de los resultados alcanzados. Más concretamente, Peirce afirma que la comunidad científica, lejos de ser una asamblea o un parlamento cuyos miembros se pelean entre sí con fieros argumentos, debería ser más bien como una «familia». Una comunidad científica es siempre —o al menos debería serlo, según Peirce— una comunidad afectiva. Sin duda, la práctica científica actual es a este respecto desafortunadamente muy distinta, pero en estas afirmaciones de Peirce se encuentran algunas claves que pueden ser muy útiles para su regeneración.

PARA SABER MÁS

The scientific attitude and fallibilism. Dirigido por J. Buchler en *Philosophical writings of Peirce.* Dover Publications. Nueva York, 1955.

The essential Peirce. Selected philosophical writings. Dirigido por Nathan Houser et al. Indiana University Press, 1992-98.

Charles S. Peirce and the philosophy of science. Edward C. Moore. University of Alabama Press, 1993.

Peirce: A guide for the perplexed. Cornelis de Waal. Bloomsbury, 2013.

Charles S. Peirce (1839-1914): Un pensador para el siglo XXI. Sara Barrena y Jaime Nubiola. Ediciones Universidad de Navarra, 2013.

EN NUESTRO ARCHIVO

A Charles Sanders Peirce: filósofo y experto en juegos. Martin Gardner en *IyC*, n.º 24, septiembre de 1978.

Charles S. Peirce: La lógica de la abducción. Jaime Nubiola en *MyC* n.º 7, 2004.

por Antonio Pich

Antonio Pich, catedrático de física teórica en el Instituto de Física Corpuscular, de la Universidad de Valencia y el CSIC, es uno de los ocho impulsores de la iniciativa #futureofresearch.



Sin ciencia no hay innovación

La desaparición de las áreas de Educación e Investigación de la nueva Comisión Europea perjudica la ciencia y, de rebote, la innovación

El organigrama de la nueva Comisión Europea, presentado recientemente por la presidenta electa Ursula von der Leyen, ha indignado a la comunidad científica, que ha reaccionado masivamente solicitando su inmediata modificación. El motivo de tal protesta ha sido que dos grandes áreas hasta ahora prioritarias, Educación e Investigación, han desaparecido del organigrama, lo cual significa que dejarán de ocupar el máximo nivel de interés en la toma de decisiones de la nueva Comisión.

Las competencias de los anteriores comisarios de Investigación, Ciencia e Innovación y de Educación, Cultura, Juventud y Deporte han sido reabsorbidas y fusionadas en una única cartera denominada Innovación y Juventud, que estará dirigida por Mariya Gabriel.

Más allá de las consideraciones semánticas asociadas a la actual moda política de preferir las etiquetas concisas y «modernas» (innovación, juventud) a la precisión del «viejo» lenguaje (investigación, educación), el nuevo organigrama evidencia un peligroso cambio de prioridades en la política europea que lleva ya varios años gestándose. Se enfatizan los criterios economicistas, como la obtención de resultados a corto plazo que tengan un impacto social y retorno financiero, frente a las motivaciones puramente científicas.

Este enfoque no solo representa un ninguneo de la investigación científica más básica y un menosprecio del papel que esta ejerce en el desarrollo económico y social, sino que ignora las bases fundamentales del auténtico proceso innovador: sin educación e investigación no es posible la innovación. Los temores se han visto confirmados en la presentación de la nueva comisaria frente al Parlamento Europeo, muy focalizada en los «retos sociales y económicos». Sus escasas menciones al Consejo Europeo de Investigación (ERC), la entidad que financia los proyectos científicos más prestigiosos y competitivos, fueron solo para sugerir una mayor involucración del ERC en la innovación.

Las nuevas prioridades políticas se están poniendo también de manifiesto en el ambicioso programa Horizonte Europa, la mayor apuesta europea para financiar la ciencia y la innovación durante el período 2021-2027. El presupuesto del programa, reforzado inicialmente a instancias del Parlamento Europeo, está siendo sometido ahora a fuertes presiones por parte de



algunos Gobiernos, que quieren reducirlo. Un somero análisis de la distribución presupuestaria muestra que la investigación denominada «excelente» representa solo un 24 % (un 15 % corresponde al ERC y un 6 % al programa de becas Marie Curie), mientras que el 52,7 % de la financiación se destina a la investigación «orientada», o aplicada, lo que constituye el segundo pilar del programa, denominado «Retos globales y competitividad industrial». El resto del presupuesto se dedicará a defensa europea (13 %), a la creación de un nuevo Consejo Europeo de Innovación que financiará las empresas emergentes (*start-ups*) y las ideas comerciales innovadoras (13,5 %), y a otras partidas (2,1 %).

La respuesta a tal situación ha dado lugar a la iniciativa #futureofresearch (http://www.futureofresearch.eu), en la que más de 12.000 científicos, incluidos 19 premios nóbel y los representantes de las principales instituciones científicas de la Unión Europea, exigimos que las áreas de Educación e Investigación vuelvan a estar representadas al máximo nivel en la Comisión.

Como argumento en contra de la deriva economicista, basta recordar el modo en que se han producido las innovaciones más revolucionarias de la historia. Un buen ejemplo lo ofrece el electromagnetismo, que supuso el ingrediente fundamental de todo el desarrollo económico y social del siglo XX. Las grandes ciudades del siglo XIX estaban iluminadas por lámparas de gas, el cual, obtenido a partir del carbón, provocaba graves problemas de contaminación. Cualquier político o economista de la época consideraría prioritario crear lámparas de gas más eficientes y menos contaminantes. Sin embargo, la verdadera innovación se originó en un laboratorio científico donde el físico inglés Michael Faraday, experimentando con imanes y bobinas, descubrió la inducción magnética y desarrolló los primeros dispositivos electromagnéticos que más tarde darían lugar a los generadores y motores eléctricos. Cuentan que el ministro inglés de finanzas preguntó si la electricidad tenía algún valor práctico. «Señor, algún día podrá gravarla con impuestos», fue la respuesta contundente de Faraday.

Basándonos en ese ejemplo, hoy podríamos preguntarnos: ¿queremos identificar y apoyar a los Faraday del siglo XXI? ¿O nos conformaremos con priorizar la mejora de nuestras «lámparas de gas»?



Presentación

VERDADES, MENTIRAS E INCERTIDUMBRES

Informaciones falsas, populismos, corrupción, manipulación, teorías de la conspiración... Vivimos tiempos que parecen gobernados por el engaño y la falacia. ¿Cómo hemos llegado hasta aquí? ¿Cómo podemos afrontar los retos personales y sociales que ello plantea? Para arrojar luz sobre este panorama confuso, en este número monográfico de *Investigación y Ciencia* exploramos un concepto clave para la comprensión del mundo: la incertidumbre. ¿Sabemos qué significa y cómo manejarla? ¿Cómo actúa en ciencias tan básicas como la física y las matemáticas? ¿Se ve afectada la incertidumbre por la forma en que nuestro cerebro interpreta la realidad y toma decisiones?

Más allá de los ámbitos filosófico, cognitivo y psicológico, la incertidumbre presenta desafíos también en la esfera colectiva. ¿Cómo influye en las relaciones humanas? ¿Qué papel desempeña en la dinámica de un mundo cada vez más conectado y dirigido por datos? Y todo ello sin olvidar los desarrollos técnicos que inducen la distorsión de la verdad y la normalización de la mentira, así como unas redes sociales con potencial para extender la desinformación a escalas sin precedentes.

No saber manejar la incertidumbre nos vuelve más vulnerables. Con todo, el panorama no es del todo pesimista. Si comprendemos los mecanismos instintivos que utilizamos para lidiar con lo desconocido y el modo en que los agentes malintencionados explotan el ecosistema de la información, podremos levantar defensas contra los relatos engañosos y alcanzar un entendimiento que contribuya a resolver los desafíos más apremiantes de la sociedad.

—La redacción

CONTENIDO

RED NOSE STUDIO

PARTE 1:

VERDADES





VERDADES, MENTIRAS E INCERTIDUMBRES

Ilustración de Red Nose Studio

FÍSICA

A LAS PUERTAS DE LA REALIDAD

¿PUEDE LA FÍSICA ACERCARNOS A UNA COMPRENSIÓN VERDADERAMENTE FUNDAMENTAL DEL MUNDO?

George Musser

[redacted]



George Musser es redactor colaborador de *Scientific American* y autor de los libros *Spooky action at a distance* (Farrar, Straus and Giroux, 2015) y *The complete idiot's guide to string theory* (Alpha, 2008).

La física parece ser una de las pocas esferas de la vida donde la verdad es un concepto claro. Sus leyes (basadas en el rigor matemático y la comprobación experimental) describen una realidad sólida. Proporcionan respuestas en lugar de confusión. No hay una física válida para cada persona, sino una sola aplicable a todos y en cualquier lugar. Es cierto que a veces sus afirmaciones pueden parecer extrañas. Pero eso es una buena señal, ya que indica que no está determinada por ideas preconcebidas. En un mundo plagado de eternos debates circulares, la física aporta novedad y nos saca de nuestras rutinas intelectuales.

La física también cimienta una búsqueda más amplia de la verdad. Si seguimos la cadena de explicaciones que nos proporcionan las demás ciencias, antes o después acabaremos en la física. Su éxito y su papel de fundamentación de las otras ciencias dan base a una imagen naturalista, o más bien fisicalista, del mundo. En ella, todos los fenómenos tienen explicaciones físicas, y nociones como la de impulso vital o alma incorpórea carecen de lugar. Por supuesto, esta ciencia no nos dicta cómo gobernar nuestra vida o resolver dilemas morales, pero sí nos proporciona el marco en el que decidir dichas cuestiones.

Para la mayoría, la física se presenta como una actividad de búsqueda de la verdad en su forma más pura. Sin embargo, esta imagen no es compartida por los propios físicos, que en ocasiones parecen verse afectados por un síndrome de impostura colectiva. Aunque en general den por supuesto que la verdad está ahí fuera y que ellos son capaces de descubrirla —¿qué se supone que hacen, si no?—, no dejan de tener sus dudas. Estas afloran en discusiones informales, en congresos dedicados a discutir el panorama global de la disciplina, en sus renovados esfuerzos por solicitar la ayuda de filósofos o en libros y blogs dirigidos al gran público. Tales preocupaciones se hallan más presentes en la física fundamental, que, aunque no engloba a toda la física, sí desempeña un papel preponderante dentro de ella.

Muchos físicos se muestran inquietos porque el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) no parece encontrar indicios de nuevos fenómenos sobre los que construir el siguiente nivel de leyes de la naturaleza. Existe también preocupación por si las teorías unificadas, como la teoría de cuerdas, podrán comprobarse experimentalmente algún día. Algunos consideran que su disciplina sufre de una excesiva matematización, mientras que otros creen que la complejidad matemática es insuficiente. Y la verdad puede resultar esquiva incluso en el contexto de las teorías mejor establecidas: a pesar del excelente grado de verificación

BROOK VANDEVELDER



experimental de la mecánica cuántica, su interpretación sigue siendo inescrutable.

El científico de a pie se enfrenta a problemas más concretos: ¿está roto el cable?, ¿hay algún error en el programa?, ¿es esta medida un efecto estadístico? Pero tales preocupaciones mundanas pueden resultar extremadamente sutiles, y en ocasiones tampoco son ajenas a las grandes cuestiones de la física. Todo debe ser juzgado en un marco de conocimiento más amplio.

Algunos físicos interpretan estos problemas como una señal de que su disciplina ha perdido el norte y que sus colegas están demasiado cegados para percibirlo. Sin embargo, puede que una pista importante para entender la situación se encuentre en el elusivo carácter de la verdad. A diferencia de lo que ocurre en otros dominios de la vida, las dificultades que tienen los físicos con la verdad no se debe a que oculten nada, sino más bien a todo lo contrario: a ser totalmente honestos sobre nuestras limitaciones a la hora de encarar la realidad. La única manera de superar tales obstáculos es hacerles frente.

Las dudas acerca del progreso de la física no son ni mucho menos nuevas. Desde que existe la disciplina, siempre ha habido quienes consideraban que su ciencia se había topado con alguna barrera insuperable. Toda investigación es compleja y engorrosa. Y ya resulta sorprendente que los humanos podamos entender la realidad, por lo que cualquier obstáculo podría constituir la señal de que nuestra buena suerte se ha acabado.

Durante generaciones, los físicos han basculado entre la seguridad en sí mismos y el escepticismo. Periódicamente, han considerado imposible descubrir la estructura última de la naturaleza y han reducido la física a una búsqueda de conocimiento útil. Presionado por sus contemporáneos para dar cuenta de cómo operaba la gravedad, Isaac Newton respondió: «No hago hipótesis». Refiriéndose a la mecánica cuántica, Niels Bohr escribió: «Nuestra tarea no es penetrar en la esencia de las cosas, cuyo significado en ningún caso conocemos, sino desarrollar conceptos que nos permitan hablar de forma fructífera de los fenómenos naturales». Pero la visión de ambos científicos era compleja. Newton, de hecho, elaboró varias hipótesis sobre la gravedad, y Bohr declaró en otras ocasiones que la teoría cuántica describía la realidad. Y en cualquier caso, ambos consiguieron que la ciencia avanzase dejando de lado la gran cuestión de por qué el mundo es como es.

A lo largo de la historia, los físicos han acabado volviendo sobre tales preguntas. Newton fracasó en sus intentos de explicar la gravedad, pero las generaciones posteriores hicieron suyo el reto, que culminó con la teoría de la relatividad general de Einstein. La interpretación de la mecánica cuántica regresó a la agenda de los físicos en los años sesenta, y, aunque sigue sin resolver, ha dado lugar a ideas prácticas, como la criptografía cuántica. Lo que reaviva la curiosidad de los físicos es la sensación de que, como dijo el filósofo Hilary Putnam, el éxito de sus teorías parecería milagroso si estas no estuvieran sintonizadas con la realidad. En términos más básicos, ¿cómo es posible hacer experimentos si no hay una realidad que les dé base? Esta posición se conoce como realismo. Mantiene que entidades que no observamos directamente pero que inferimos teóricamente (como átomos, partículas, espacio y tiempo) en realidad existen. Las teorías son ciertas porque reflejan la realidad, aunque de forma imperfecta. El ciclo entre el realismo y su posición contraria, el antirrealismo, continuará sin duda en el futuro, ya que cada una de las dos posturas evoluciona bajo la presión de la otra.

Dicha competición ha sido positiva para la física. El físico y filósofo antirrealista Ernst Mach motivó a Einstein a reflexionar sobre por qué sabemos lo que sabemos, o pensamos que sabemos. Eso marcó la ruta de todo lo que vino después. Una vez que aceptamos que vemos el mundo a través de lentes coloreadas, podemos compensar este hecho. Algunos aspectos de la realidad son relativos al observador, mientras que otros son comunes a todos ellos. Dos personas moviéndose a velocidades diferentes estarán en desacuerdo sobre la distancia entre dos sucesos, sobre el intervalo temporal transcurrido entre ellos o incluso —en algunos casos— sobre cuál tuvo lugar antes. Tales disputas son irresolubles. Pero existe una combinación aritmética de distancia e intervalo temporal (la distancia espaciotemporal) que es común a ambos. Tales cantidades, conocidas como «invariantes», definen la verdad objetiva.

Además de las preocupaciones genéricas del pasado, los físicos de hoy se han encontrado con numerosas barreras específicas e inesperadas al conocimiento. Con independencia de la interpretación de la mecánica cuántica que elijamos, hay elementos que nos superan. Por ejemplo, si enviamos un fotón hacia un espejo semitransparente, no podremos saber de antemano si se reflejará o lo atravesará. El resultado se decide de forma aleatoria. Algunos piensan que no existe ninguna razón que explique el comportamiento del fotón; es decir, que la aleatoriedad es intrínseca. Otros creen que una causa oculta determina el resultado. E incluso hay quien afirma que el fotón hace ambas cosas, atravesar el espejo y reflejarse, pero que por razones desconocidas solo podemos observar uno de los resultados.

Las partículas son fáciles de manipular, razón por la que la física cuántica suele describirse en términos de ellas. Sin embargo, la mayoría cree que las mismas reglas cuánticas se aplican a todo lo que existe, incluso a los seres vivos. Eso hace que no quede claro en qué momento «decide» el fotón pasar por el espejo o reflejarse en él. De hecho, cuando el fotón llega al espejo, el sistema formado por ambos entra en un estado de indecisión. Cuando el aparato de medida registra la trayectoria, este también se ve atrapado entre las diferentes posibilidades. Y, si enviamos a un amigo para que compruebe qué ha pasado, desde nuestro punto de vista él observará ambos resultados. Nadie ha encontrado todavía el umbral de tamaño o complejidad del sistema que fuerza un resultado u otro (el tamaño y la complejidad son importantes para determinar las distintas opciones, pero no para la selección final). Hasta ahora, solo conocemos una situación en la que esta ambigüedad se resuelve: en nuestra percepción consciente. Nunca vemos un fotón que haga dos cosas contradictorias a la vez. Este hecho introduce en la teoría un elemento de subjetividad no deseado.

EN SÍNTESIS

La física parece centrarse en la determinación objetiva de los hechos. Sin embargo, esta ciencia tiene sus propios conflictos con la idea de verdad, tanto o más que cualquier otra disciplina.

La mecánica cuántica, por ejemplo, sostiene que las partículas carecen de una realidad bien definida: sus propiedades permanecen indeterminadas hasta el momento de la medición.

En tiempos recientes, varios investigadores se han interesado por la manera en que las incertidumbres en física podrían afectar a otra de las grandes preguntas: el funcionamiento la consciencia.

Para Christopher A. Fuchs, físico de la Universidad de Massachusetts en Boston, la lección es que los observadores son, por naturaleza, participantes activos que contribuyen a construir la realidad que observan. Una perspectiva «en tercera persona» es por lo tanto imposible. Las matemáticas de la teoría cuántica combinan elementos objetivos y subjetivos. Esta interpretación de la mecánica cuántica, conocida como bayesianismo cuántico (o «QBismo», a partir de sus siglas en inglés), intenta eliminar los elementos subjetivos y revelar la estructura real que se encuentra detrás, algo similar a lo que hizo Einstein con su teoría de la relatividad [*véase* «Bayesianismo cuántico», por Hans Christian von Bayer; Investigación y Ciencia, agosto de 2013].

Una interpretación relacionada es la visión «pragmatista» del filósofo Richard Healey, de la Universidad de Arizona. Según él, la teoría cuántica no es una representación del mundo, sino de la interfaz entre el mundo y el ser humano o cualquier otro agente. Usamos el formalismo cuántico para evaluar las probabilidades de lo que puede ocurrir, al igual que un corredor de bolsa compra y vende acciones en función de las tendencias del mercado y no de los principios básicos de la economía. El operador puede enriquecerse sin entender qué hacen las compañías en las que invierte. A diferencia de Fuchs, Healey no cree que la mecánica cuántica contenga una descripción de la realidad física. Tal cosa requeriría, según este autor, una teoría completamente nueva.

En las antípodas se encuentran aquellas interpretaciones que consideran que la teoría cuántica sí corresponde a una representación del mundo. Este punto de vista conduce a entender la mecánica cuántica como una teoría de realidades alternativas que coexisten. Esos mundos múltiples, o universos paralelos, parecen ser también una consecuencia de ciertas teorías cosmológicas, según las cuales el mismo proceso que dio lugar a nuestro universo debió generar otros. Los universos paralelos podrían existir en dimensiones adicionales, más allá de nuestras facultades de observación. Así pues, no existe una realidad única.

A pesar de que las teorías que predicen un multiverso son completamente objetivas (en sus ecuaciones básicas no aparecen observadores ni cantidades que dependan de ellos), no eliminan el papel del observador, tan solo lo desplazan. Afirman que nuestra visión de la realidad está fuertemente filtrada, y que eso ha de tenerse en cuenta al aplicarlas. Que no veamos al fotón hacer dos cosas contradictorias a la vez no quiere decir que no las haga; tal vez signifique que no podemos ver más que una de ellas. Esto es análogo a lo que ocurre en cosmología, donde nuestra mera existencia introduce un sesgo en las observaciones. Vivimos por necesidad en un universo que puede albergar vida, por lo que quizá nuestras mediciones no sean representativas.

Los universos paralelos no alteran la verdad que experimentamos. Si sufrimos en este universo, parece de poco consuelo pensar que copias casi idénticas de nosotros vayan a ser felices en otro. Pero esos otros mundos erosionan nuestra búsqueda de una verdad más amplia. Dado que son en general inobservables, la existencia de universos paralelos representa una limitación insuperable a nuestro conocimiento directo. Y si tales universos son completamente diferentes de este, nuestro conocimiento empírico no solo estará limitado, sino también falseado. Las leyes de la física corren el peligro de derivar en una anarquía: ya no nos dicen que una cosa sucede en lugar de otra, sino que ambas tienen lugar y lo que observamos es el resultado de un azar ciego. La diferencia entre hecho y ficción depende por tanto de dónde estemos.

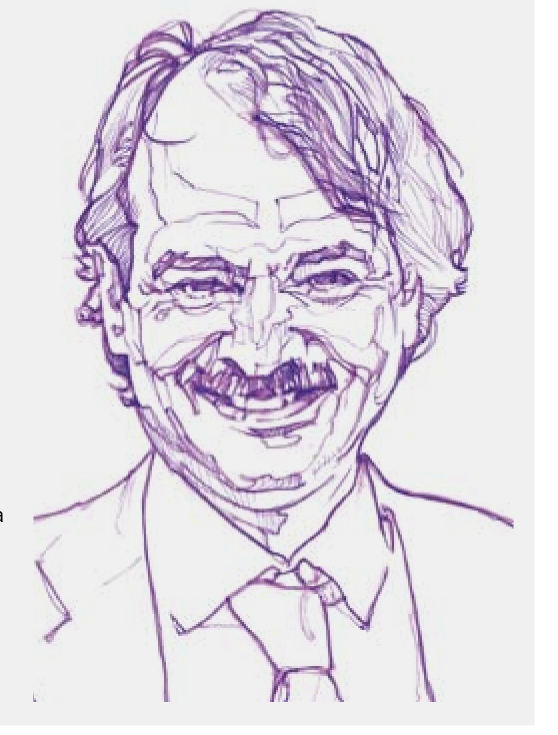
LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN MEDICINA

A diferencia de lo que ocurre cuando queremos saber cuánto tarda una piedra en llegar al suelo, en el ámbito de la vida humana no hay respuestas seguras. Si las hubiera, probablemente no se trataría de la vida, sino de una piedra. En biomedicina resulta complicado saber si un efecto es real, ya que los estándares difieren entre los distintos campos. No todas las herramientas funcionan con cualquier pregunta, y los niveles de complejidad de nuestro conocimiento varían incluso antes de comenzar un estudio.

A pesar de ello, un elemento común a las diferentes áreas de la biomedicina es la posibilidad de replicar mediante nuevos estudios lo que ya ha sido observado en una primera investigación. Durante años se nos ha desanimado a hacerlo: ¿para qué malgastar el dinero repitiendo lo que alguien ya ha hecho antes? Ahora, sin embargo, numerosos investigadores se están percatando de que no es viable excluir los estudios de replicación.

Para que estos funcionen, es imprescindible disponer de una explicación detallada de cómo se realizó el trabajo original. Ello incluye instrucciones, datos en bruto e incluso algunos de los programas informáticos diseñados para la ocasión. En el pasado, los científicos han sido reacios a compartir esta información. Pero la situación está cambiando: la ciencia es una empresa común y debemos ser abiertos y colaborativos.

John P. Ioannidis*, profesor de medicina en la Universidad Stanford, en declaraciones a Brooke Borel*



BUD COOK

Incluso aquellos aspectos de la física fundamental que parecen estar bien establecidos pueden resultar sorprendentemente sutiles. Los físicos hablan de partículas (concentraciones puntuales de materia) y campos (entidades similares a fluidos, como los campos eléctricos y magnéticos). No obstante, sus propias teorías indican que tales objetos no pueden existir. La combinación de la mecánica cuántica y la relatividad descarta la existencia de partículas: según diversos teoremas matemáticos, nada puede estar localizado de la forma que implica el concepto tradicional de partícula. El número de partículas que detecta un observador depende de su estado de movimiento. Al no ser un invariante, no cualifica como hecho objetivo. Los grupos de partículas pueden tener propiedades que van más allá de las características individuales de cada una de ellas.

Tampoco los campos son lo que parecen. La teoría cuántica hace tiempo que abandonó la imagen de los campos eléctricos y magnéticos como estructuras concretas y los reemplazó por abstracciones matemáticas difíciles de interpretar. Entre otras propiedades, dicha abstracción resulta ser redundante: mucho más compleja que los fenómenos reales que pretende representar. Los físicos han buscado estructuras alternativas más ajustadas a la realidad, pero estas ya no son verdaderos campos. Aunque por el momento continúan describiendo el mundo usando las nociones de partícula y campo, son conscientes de que la imagen completa se les escapa.

Las teorías unificadas de la física propuestas hasta ahora introducen nuevas complicaciones. La teoría de cuerdas, en particular, ha resultado controvertida. Implica la existencia de universos paralelos, con las extrañas consecuencias que esto tiene para la verdad. También se basa en gran medida en las llamadas dualidades: descripciones matemáticas diferentes que conducen a las mismas predicciones observacionales, lo que indica que existen formas alternativas de describir una misma situación. Las dualidades son potentes porque permiten un pensamiento lateral: si una ecuación resulta difícil de resolver, podemos usar una dualidad para transformarla en otra más sencilla. Pero, si hay múltiples formulaciones matemáticas equivalentes, ¿cuál se ajusta a la realidad, si es que alguna de ellas lo hace?

Muchos críticos de la teoría de cuerdas alegan que, dado lo minúsculo de los efectos distintivos que predice, su comprobación experimental se encuentra más allá de los medios técnicos conocidos. Pero esta crítica se aplica por igual a las teorías competidoras. Es lo que podríamos llamar la maldición del éxito: las teorías actuales de partículas elementales no tienen demasiadas fisuras que permitan atisbar un nivel más profundo. A falta de una guía experimental, los físicos se ven obligados a desarrollar sus nuevas teorías sin otra tutela que las matemáticas. La mecánica cuántica y la relatividad imponen condiciones tan estrictas que casi dictan la forma de la teoría unificada. Sin embargo, todas las teorías propuestas descansan en gran medida sobre presupuestos de belleza y elegancia que bien podrían ser incorrectos.

Hay una extraña tendencia inherente a todo el proyecto de unificación. Cuanto más penetran los físicos en la estructura de la realidad, más parece evaporarse esta. Si la multiplicidad de las cosas que vemos solo corresponde a manifestaciones de una misma sustancia subyacente, las diferencias deben obedecer al modo en que esta se comporta, no a variaciones en su naturaleza intrínseca. Podemos decir que la explicación física remplaza nombres por verbos: lo que las cosas «son» se convierte en lo que hacen sus constituyentes. La teoría de cuerdas podría ser incorrecta, pero sin duda ilustra esta idea. El amplio zoo de partículas elementales corresponde a los diferentes estados de vibración de un único objeto primitivo y sin estructura: la cuerda. Llevado a sus últimas consecuencias lógicas, este razonamiento sugiere que al final no quedará ningún nombre, solo verbos.

Algunos filósofos concluyen que la categoría «cosa» es errónea. Según la corriente conocida como realismo estructural, los ingredientes primarios de la naturaleza son las relaciones, y lo que percibimos como cosas no son más que nodos donde confluyen relaciones. Pero esta idea tiene sus singularidades. ¿Qué diferencia un objeto físico de uno matemático? ¿O una simulación del sistema original? Ambos implican el mismo conjunto de relaciones, por lo que no habría manera de diferenciarlos. Y si no hay nombres, ¿qué «ejecuta» los verbos? ¿Se erige la física sobre arenas movedizas?

La verdad puede resultar esquiva incluso en las teorías mejor establecidas. Pese a la excelente verificación experimental de la mecánica cuántica, su interpretación sigue siendo inescrutable

Los problemas mencionados no son los únicos que hacen dudar a los físicos sobre el camino correcto. Muchos se han interesado por la consciencia, atraídos por el llamado «problema duro» de esta: la relación entre los procesos físicos cerebrales y los estados mentales que experimenta el sujeto [*véase* «La consciencia», por David J. Chalmers; Investigación y Ciencia, febrero de 1996]. Por naturaleza, los métodos de la ciencia parecen ser incapaces de describir las experiencias subjetivas. Nuestra vida mental interior está oculta a la observación externa y no parece ser reducible a una descripción matemática, lo que lleva a pensar que se trata de un añadido ajeno al esquema físico de las cosas. Según este argumento, entender la mente podría requerir algún principio científico nuevo o una nueva manera de pensar. Los físicos están intrigados por la posibilidad de que su imagen básica del mundo pueda dejar fuera algo tan importante.

Esa no es la única razón por la cual los físicos se han preocupado de la mente. El multiverso constituye un ejemplo de cómo podríamos estar percibiendo una versión filtrada de la realidad. Si seguimos ese camino, resulta inevitable considerar otras posibilidades que empequeñecen la idea del multiverso. Kant argumentó que la estructura de nuestra mente condiciona lo que percibimos. En esta tradición, Markus Müller, del Instituto de Óptica Cuántica e Información Cuántica de Viena, y el científico cognitivo Donald Hoffman, de la Universidad de California en Irvine, han argumentado que, si percibimos el mundo en términos de objetos localizados en el espacio y en el tiempo, no

es tanto porque esa sea su estructura, sino porque esa es la única manera en que podemos percibirlo.

El hecho de que nuestro cerebro pueda hacerse camino a través del mundo no significa que capte su estructura con fidelidad. En el campo de la inteligencia artificial, los investigadores han hallado que, a menudo, las máquinas mejoran efectuando predicciones o controlando equipos si evitan hacer representaciones directas del mundo. De forma similar, la realidad podría ser muy diferente de lo que nuestras mentes o teorías nos dicen. Expertos como el filósofo Colin McGinn o el científico cognitivo Steven Pinker han sugerido que la dificultad del problema de la consciencia radica en nuestra peculiar manera de razonar. Quizás algún día construyamos mentes artificiales capaces de analizar estos problemas, aunque es posible que se bloqueen con cuestiones que nosotros consideramos fáciles.

Si hay algo que nos devuelve la confianza en la posibilidad de conocer la verdad es que podemos dividir y conquistar. A pesar de que a menudo identificamos «real» con «fundamental», cada uno de los múltiples niveles de descripción que proporciona la ciencia tiene el mismo derecho a ser considerado real. Por ello, incluso si las «cosas» parecen evaporarse cuando estudiamos la naturaleza en su nivel más profundo, tenemos todo el derecho a pensar en términos de ellas en nuestra vida diaria. Aunque la mecánica cuántica sea desconcertante, podemos usarla para construir una imagen sólida del mundo. Y aun cuando pueda preocuparnos no experimentar la realidad fundamental, sin duda experimentamos *nuestra* realidad, y en ella hay mucho que estudiar.

Tampoco sería malo encontrar que nuestras teorías no hacen sino atrapar vientos. Nos recordaría que debemos ser humildes. Los físicos pueden ser arrogantes, pero los más experimentados y exitosos suelen ser cautos. Acostumbran a ser los primeros en señalar los problemas de sus propias ideas, aunque solo sea para evitar el bochorno de que otros lo hagan. Nadie dijo nunca que encontrar la verdad fuera una tarea sencilla. IyC

PARA SABER MÁS

Perdidos en las matemáticas: Cómo la belleza confunde a los físicos. Sabine Hossenfelder. Ariel, 2019.
In it for the long haul. Matthew Chalmers en *CERN Courier*, vol. 59, n.º 2, págs 45-49, marzo-abril de 2019.

EN NUESTRO ARCHIVO

Los límites del conocimiento. Entrevista a Leonard Susskind; Peter Byrne en *IyC*, septiembre de 2011.
Realismo científico. Sigue el debate. Antonio Diéguez en *IyC*, marzo de 2012.
Física y filosofía. Francisco José Soler Gil en *IyC*, julio de 2013.
¿Qué es real? Meinhard Kuhlmann en *IyC*, octubre de 2013.
Los límites del método científico. Adán Sus en *IyC*, abril de 2016.

MATEMÁTICAS

¿SON REALES LAS MATEMÁTICAS?

LOS FILÓSOFOS NO LOGRAN PONERSE DE ACUERDO SOBRE SI LOS OBJETOS MATEMÁTICOS GOZAN DE UNA REALIDAD OBJETIVA O SI, POR EL CONTRARIO, NO SON MÁS QUE MERAS INVENCIONES

Kelsey Houston-Edwards

[redacted]

Cuando digo que soy matemática, una de las reacciones más curiosas que recibo es: «Las clases de matemáticas me gustaban porque todo era correcto o incorrecto; no había ambigüedad ni duda». Cuando lo oigo, siempre respondo con un balbuceo. Las matemáticas no son la asignatura más popular, y me cuesta atemperar un entusiasmo así. No obstante, están plagadas de incertidumbre, solo que esta se esconde en un segundo plano.

Por supuesto, entiendo a qué se refieren. Cuando un profesor pregunta si el número 7 es primo, no hay duda de que la respuesta es «sí». Por definición, un número primo es un entero mayor que 1 que solo es divisible por sí mismo y por 1; como 2, 3, 5, 7, 11, 13, etcétera. Cualquier profesor de matemáticas, en cualquier lugar del mundo y en cualquier momento de los últimos milenios, juzgará correcto afirmar que 7 es primo. Pocas disciplinas alcanzan un consenso semejante. Pero, si preguntamos a cien matemáticos qué implica que se cumpla un determinado enunciado, obtendremos cien respuestas distintas. El número 7 podría existir como un objeto abstracto independiente, una de cuyas propiedades sería justamente la primalidad. Sin embargo, también podría formar parte de un elaborado «juego» ideado por los propios matemáticos. En otras palabras: los matemáticos coinciden de manera casi unánime a la hora de determinar si un enunciado de su disciplina es verdadero o falso, pero no logran ponerse de acuerdo en qué es exactamente aquello sobre lo que trata el enunciado.

Un aspecto de la controversia radica en esta sencilla pregunta filosófica: ¿las matemáticas se descubren o se inventan? Quizás el 7 sea una entidad real que existe con independencia de nosotros y sobre la cual los matemáticos se limitan a descubrir hechos objetivos. Pero también podría ser un producto de nuestra imaginación, con una definición y propiedades flexibles. En realidad, dedicarse a las matemáticas fomenta una especie de perspectiva filosófica dual, una en la que las matemáticas se tratan a la vez como inventadas y como descubiertas.



Esto nos recuerda al teatro de improvisación. Los matemáticos inventan un escenario con personajes, objetos y unas pocas reglas de interacción, y después observan cómo se desarrolla la trama. Los actores enseguida adquieren personalidad y relaciones propias, las cuales resultan del todo independientes de las que tenían en mente los matemáticos. Pero, sea quien sea el director de la obra, el desenlace es siempre el mismo: incluso en un sistema caótico, donde los finales pueden variar enormemente, las mismas condiciones iniciales conducirán siempre al mismo punto final. Es esta inevitabilidad la que confiere una cohesión tan notable a las matemáticas. Entre bastidores se esconden preguntas complejas sobre la naturaleza fundamental de los objetos matemáticos y sobre la adquisición de conocimientos en esta disciplina.

Kelsey Houston-Edwards es profesora de matemáticas en la Escuela de Ingeniería Olin, en Massachusetts. Escribió y presentó la serie web de la cadena PBS *Infinite series* y ha trabajado en la publicación digital *NOVA Next*.



INVENCIÓN

¿Cómo sabemos si un enunciado matemático es correcto? A diferencia de los científicos, quienes por lo general intentan inferir los principios de la naturaleza a partir de observaciones, los matemáticos comienzan con una colección de objetos y reglas y, a continuación, demuestran sus consecuencias de manera rigurosa. El resultado de este proceso deductivo, en el que a menudo se parte de hechos más simples para llegar a otros más complejos, es lo que se conoce como demostración o prueba. A primera vista, las demostraciones parecen esenciales para explicar el increíble consenso existente entre los matemáticos.

No obstante, las demostraciones solo otorgan una verdad condicional, ya que la veracidad de la conclusión depende de la de las premisas. Aquí radica el problema con la idea habitual de que el consenso entre matemáticos emana de la estructura de sus argumentos, basados en demostraciones. Estas parten de suposiciones centrales de las que depende todo lo demás. Y, de hecho, buena parte de las preguntas filosóficamente controvertidas sobre la verdad y la realidad de las matemáticas se refieren a dicho punto de partida. Esto nos lleva a la siguiente pregunta: ¿de dónde proceden esos objetos e ideas fundamentales?

Con frecuencia impera la utilidad: necesitamos números para poder contar cabezas de ganado, pongamos por caso, y objetos geométricos como los rectángulos para medir el área de un campo de cultivo. En otras ocasiones, la razón es estética: ¿cuán interesante o atractiva se antoja la historia resultante? Alterar los supuestos iniciales puede abrir la puerta a nuevas estructuras y teorías, al tiempo que descarta otras. Por ejemplo, podríamos inventar un sistema aritmético donde, por decreto, el producto de dos números negativos fuera también negativo (lo que facilitaría las frustradas explicaciones de los profesores de matemáticas). Sin embargo, en tal caso desaparecerían muchas de las propiedades intuitivas y deseables de la recta numérica. Los matemáticos juzgan sus objetos fundamentales (como los números negativos) y sus propiedades (como el resultado de multiplicarlos) en el marco de un contexto coherente y más amplio. Por tanto, antes de demostrar un nuevo teorema, un matemático necesita ver cómo se desarrollará la obra. Solo entonces puede saber qué demostrar: la inevitable e invariable conclusión. Ello dota al proceso de hacer matemáticas de tres etapas: invención, descubrimiento y demostración.

Los personajes de la obra casi siempre se construyen a partir de entidades más sencillas. Por ejemplo, una circunferencia se define como el conjunto de puntos que equidistan de otro punto central. Así que su definición se basa en la de punto, un objeto más simple, y en la de distancia entre dos puntos, una propiedad de dichos objetos simples. Del mismo modo, la multiplicación corresponde a una suma repetida, y la potenciación a una multiplicación reiterada. En consecuencia, las potencias heredan las propiedades de la multiplicación. Y a la inversa: podemos aprender sobre un objeto matemático complejo estudiando aquellos más básicos que sirven para definirlo. Esto ha llevado a algunos matemáticos y filósofos a imaginar las matemáticas como una pirámide invertida, con un gran número de ideas y construcciones complejas que se deducen a partir de una pequeña base de conceptos simples.

A finales del siglo XIX y principios del XX, un grupo de matemáticos y filósofos comenzó a preguntarse qué sostenía esa pesada pirámide. Les preocupaba enormemente que las matemáticas no tuvieran cimientos, que la verdad de enunciados como 1 + 1 = 2 no se fundara en nada (muy obsesivos, varios de esos eruditos hubieron de lidiar con trastornos mentales). Tras cincuenta años de confusión, el ambicioso proyecto no logró obtener una respuesta que satisficiera todos los objetivos originales, aunque dio lugar a nuevas ramas de las matemáticas y la filosofía.

Algunos esperaban resolver aquella crisis sobre los fundamentos encontrando un conjunto relativamente pequeño de axiomas a partir de los cuales pudieran derivarse todas las verdades matemáticas. Sin embargo, el trabajo Kurt Gödel en los años treinta se interpreta a menudo como una prueba de que esa reducción a axiomas es imposible. Primero, Gödel demostró que cualquier sistema razonable de axiomas es necesariamente incompleto: existen afirmaciones matemáticas que el sistema no puede demostrar ni refutar. Pero el golpe más devastador vino con el segundo teorema de Gödel. Cualquier sistema fundamental de axiomas debe ser coherente; esto es, no debe presentar afirmaciones que puedan demostrarse y refutarse al mismo tiempo (nadie desea un sistema en el que pueda probarse que 7 es primo y compuesto a la vez). Además, el sistema debería ser capaz de demostrar (de garantizar matemáticamente) su propia coherencia. El segundo teorema de Gödel afirma que algo así es imposible.

Esa búsqueda de los fundamentos de las matemáticas condujo al genial hallazgo de un sistema de axiomas básicos: la teoría de conjuntos de Zermelo-Fraenkel. A partir de ella resulta posible obtener la mayoría de las matemáticas interesantes y relevantes. Basados en conjuntos (colecciones de objetos), ta-

EN SÍNTESIS

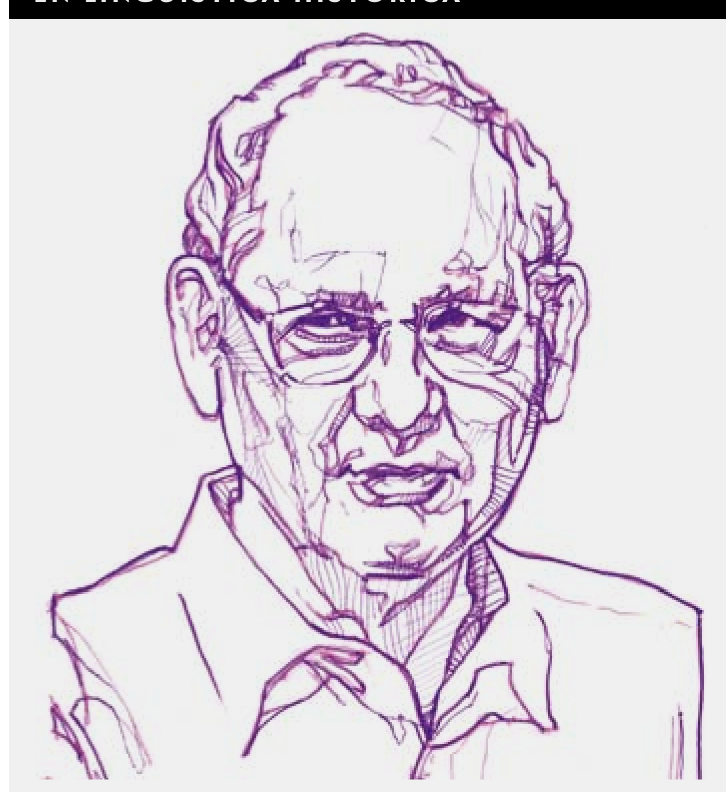
Las matemáticas son célebres por su capacidad para establecer verdades universales e irrefutables. Sin embargo, albergan un grado sutil de incertidumbre: el significado último de sus enunciados.

El hecho de que sea posible deducir relaciones insospechadas entre objetos matemáticos, como los números primos, conduce a pensar que tales objetos han de tener una realidad propia e independiente del ser humano.

Sin embargo, la falta de unos axiomas claros que sustenten toda la matemática y el hecho de que sus objetos escapen a nuestra experiencia sensible ha llevado también a postular que estos podrían no ser mucho más que una mera ficción.

BROOK VANDEVELDER

LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN LINGÜÍSTICA HISTÓRICA



Como cualquier otra ciencia, la lingüística se basa en el método científico. Uno de los principales objetivos de esta disciplina consiste en analizar los idiomas del mundo para descubrir qué es posible y qué no en el lenguaje humano. A partir de ahí, los expertos intentan progresar hacia la meta de comprender la cognición humana a través de nuestra facultad para el habla.

Así las cosas, existe una cierta urgencia por describir los idiomas en peligro de desaparición y documentarlos mientras aún se usan, ya que nos ayudan a determinar el abanico de posibilidades desde el punto de vista lingüístico. En la actualidad se conocen unas 6500 lenguas, y alrededor del 45 por ciento de ellas corren el riesgo de extinguirse.

Los lingüistas emplean una serie de criterios para identificar aquellos idiomas en peligro de desaparición y determinar hasta qué punto lo están: ¿todavía hay niños que lo aprenden? ¿Cuántas personas lo hablan? ¿Está disminuyendo el porcentaje de hablantes con respecto a la población general? ¿Se están reduciendo los contextos en los que se emplea?

La cuestión de la objetividad y la «verdad» científica se halla relacionada con la investigación de las lenguas amenazadas. En cierto sentido, la verdad depende del contexto: lo que hoy consideramos verdadero puede cambiar a medida que obtengamos más datos o indicios que mejoren nuestros métodos. La investigación de los idiomas en peligro a menudo revela cosas que no creíamos posibles en el lenguaje humano. Eso nos obliga a reexaminar las afirmaciones previas sobre sus límites, de tal manera que, en ocasiones, lo que pensábamos que era cierto puede dejar de serlo.

Lyle Campbell, *profesor emérito de lingüística en la Universidad de Hawái en Manoa, en declaraciones a Brooke Borel*

les axiomas no constituyen los cimientos idealizados que algunos matemáticos y filósofos esperaban, pero exhiben una simplicidad sorprendente y sustentan la mayor parte de las matemáticas.

A lo largo del siglo xx, los matemáticos debatieron si había que ampliar la teoría de conjuntos de Zermelo-Fraenkel con una regla adicional, conocida como «axioma de elección». Este postula lo siguiente: si partimos de una colección infinita de conjuntos, siempre será posible formar uno nuevo eligiendo un objeto de cada conjunto inicial. Pensemos en una fila de recipientes, cada uno de ellos con una serie de bolas en su interior, junto a los cuales hay una vasija adicional vacía. Podemos extraer una bola de cada recipiente e introducirlas en la vasija. El axioma de elección afirma que lo mismo puede hacerse cuando la fila inicial de recipientes es infinita. Aparte de que resulta muy intuitivo, este axioma es imprescindible para demostrar varias afirmaciones matemáticas útiles y convenientes. Pero también implica algunas consecuencias extrañas, como la paradoja de Banach-Tarski. Esta determina que es posible romper una bola sólida en cinco piezas y después juntarlas para fabricar con ellas dos nuevas bolas, cada una del mismo tamaño que la primera. Dicho de otro modo: podemos duplicar la bola. Las suposiciones fundamentales se juzgan en función de las estructuras que producen. Y el axioma de elección conlleva todo tipo de enunciados importantes, pero también viene con exceso de equipaje. Sin este axioma, a las matemáticas parecen faltarles detalles clave, pero con él incluyen algunas afirmaciones extrañas y posiblemente indeseadas.

La mayor parte de las matemáticas modernas emplean un conjunto estándar de definiciones y convenciones que han ido cobrando forma con el tiempo. Por ejemplo, los matemáticos solían considerar que el 1 era primo, pero hoy ya no lo ven así. Todavía discuten, sin embargo, si el 0 debe considerarse un número natural. Qué personajes, o inventos, entran a formar parte del canon matemático es algo que suele depender de lo interesante que resulte la obra emergente, y dilucidar algo así puede llevar años. En ese sentido, el saber matemático es acumulativo. Las viejas teorías pueden abandonarse, pero rara vez se invalidan, como ocurre a menudo en las ciencias naturales. En su lugar, los matemáticos simplemente deciden centrarse en un nuevo conjunto de supuestos iniciales y explorar las conclusiones a las que conducen.

DESCUBRIMIENTO

Como señalábamos arriba, los matemáticos a menudo definen sus objetos y axiomas con una determinada aplicación en mente. No obstante, esos objetos les sorprenden una y otra vez durante la segunda etapa del proceso matemático: la de descubrimiento. Los números primos, por ejemplo, constituyen los ladrillos básicos de la multiplicación, ya que son las unidades multiplicativas más pequeñas: un número es primo si no puede escribirse como el producto de otros, y todos los números compuestos (no primos) pueden construirse como el producto de un conjunto único de números primos.

BUD COOK

En 1742, el matemático Christian Goldbach planteó la hipótesis de que todo número par mayor que 2 podía escribirse como la suma de dos primos. Si consideramos el 8, por ejemplo, tales primos son el 3 y el 5; por su parte, 42 = 13 + 29, etcétera. La conjetura de Goldbach es sorprendente porque sugiere asombrosas relaciones accidentales entre los números pares y las *sumas* de primos, a pesar de que estos últimos fueron concebidos en el contexto de la multiplicación.

Existen abundantes indicios que apoyan la conjetura de Goldbach. En los casi 300 años que han transcurrido desde su formulación, los ordenadores han confirmado que se cumple para todos los números pares menores que 4×10^{18}. Pero eso no basta para que los matemáticos la declaren correcta: por muchos números pares que compruebe un ordenador, siempre podría haber un contraejemplo acechando a la vuelta de la esquina.

Imaginemos que el ordenador imprime sus resultados: cada vez que encuentra dos números primos cuya suma es un determinado número par, imprime ese número par. A estas alturas ya disponemos de una lista muy larga de tales números, los cuales siempre podremos enseñar a un amigo y esgrimirlos como razón convincente para creer en la conjetura de Goldbach. Pero nuestro interlocutor siempre podrá mencionar un número par que no se encuentre en la lista y preguntarnos cómo sabemos que la conjetura se cumple para ese número. Es imposible que todos los —infinitos— números pares aparezcan en la lista. De modo que, para elevar la conjetura a teorema, necesitamos una demostración: un argumento lógico que, a partir de principios básicos, pruebe sin fisuras que la conjetura se aplica a todos los infinitos números pares. Hasta hoy, nadie ha sido capaz de encontrar semejante demostración.

La conjetura de Goldbach ilustra una distinción clave entre las etapas de descubrimiento y demostración. Durante la fase de descubrimiento, se buscan indicios abrumadores que apoyen un enunciado matemático. En las ciencias empíricas, muchas veces ese es el objetivo final. No obstante, las afirmaciones matemáticas exigen una demostración.

Las pautas y los indicios ayudan a los matemáticos a revisar los resultados y decidir qué demostrar. Pero también pueden resultar engañosos. Por ejemplo, consideremos la secuencia infinita 121, 1211, 12111, 121111, 1211111, etcétera, y enunciemos la siguiente conjetura: ningún número de esta lista es primo. Es fácil acumular indicios que apoyen semejante afirmación: podemos ver que 121 no es primo porque $121 = 11 \times 11$, y lo mismo ocurre con 1211, 12111 y 121111. La pauta se mantiene durante largo tiempo, el suficiente para que probablemente nos aburramos de hacer comprobaciones. Sin embargo, de repente se rompe: el elemento 136 de la secuencia (es decir, el número 12111...111, donde hay 136 unos tras el dos) es primo.

Resulta tentador pensar que los ordenadores modernos pueden ayudarnos con este tipo de problemas. Pero se conocen ejemplos de pautas matemáticas que son válidas para los primeros 10^{42} elementos de una sucesión, pero después dejan de serlo. Jamás podríamos comprobar uno por uno tantos números, ni con toda la potencia computacional del mundo.

Aun así, la etapa de descubrimiento reviste una importancia tremenda, puesto que revela conexiones ocultas, como la conjetura de Goldbach. A menudo, dos ramas completamente distintas de las matemáticas se estudian exhaustivamente por separado antes de que se descubra una relación profunda entre ellas. Un ejemplo simple nos lo proporciona la identidad de Euler, $e^{i\pi} + 1 = 0$, que conecta la constante geométrica π con el número i, definido algebraicamente como la raíz cuadrada de –1, a través del número e, la base de los logaritmos neperianos. Estos sorprendentes hallazgos forman parte de la belleza y la singularidad de las matemáticas. Parecen señalar una profunda estructura subyacente que los matemáticos apenas están comenzando a arañar.

En ese sentido, las matemáticas parecen tanto inventadas como descubiertas. Sus objetos de estudio están definidos con precisión, pero de repente cobran vida propia y revelan una complejidad inesperada. Por tanto, el proceso matemático parece requerir que contemplemos tales objetos como reales e inventados simultáneamente: como entidades con propiedades concretas que pueden ser descubiertas, y como invenciones mentales fácilmente manipulables. Sin embargo, como ha señalado la filósofa Penelope Maddy, esa dualidad no implica ninguna diferencia en la manera de trabajar de los matemáticos, «siempre que este *doblepensar* se considere aceptable».

¿REALIDAD O FICCIÓN?

El realismo matemático es la postura filosófica que parece aplicable a la etapa de descubrimiento: las entidades matemáticas (desde las circunferencias y los números primos hasta las matrices y las variedades) son reales y existen con independencia de la mente humana. Al igual que un astrónomo que investiga un planeta distante o un paleontólogo que estudia los dinosaurios, los matemáticos descubren hechos objetivos sobre entidades reales. Probar la conjetura de Goldbach, por ejemplo, consiste en demostrar que los números pares y los primos se relacionan de cierta manera a través de la suma, del mismo modo en que un paleontólogo podría demostrar que un tipo de dinosaurio desciende de otro a partir de una relación entre sus estructuras anatómicas.

El realismo en sus distintas manifestaciones, como el platonismo, permite entender fácilmente la universalidad y la utilidad de las matemáticas. Un objeto matemático tiene una cierta propiedad (como el 7 la de ser primo) en el mismo sentido en que un dinosaurio puede ser capaz de volar. Y un teorema, como el que afirma que la suma de dos números pares es también par, se cumple porque los números pares realmente existen y satisfacen determinadas relaciones. Eso explicaría por qué las personas de distintas épocas, lugares y culturas suelen coincidir a la hora de juzgar la veracidad de los enunciados matemáticos: todos ellos hacen referencia a las mismas entidades fijas.

Sin embargo, es posible plantear algunas objeciones importantes al realismo. Si los objetos matemáticos existen realmente, no cabe duda de que muestran propiedades muy peculiares. Por un lado, son causalmente inertes: no pueden ser la causa de nada, de modo que no podemos interaccionar con ellos en sentido estricto. Esto supone un problema, ya que por lo general aprendemos sobre los objetos a través de sus efectos. Los dinosaurios dejaron huesos que los paleontólogos pueden ver y tocar, y un planeta puede pasar por delante de una estrella y bloquear su luz. Pero una circunferencia es un objeto abstracto, independiente del espacio y el tiempo. El hecho de que π sea el cociente entre la longitud de una circunferencia y su diámetro no corresponde a una afirmación sobre una lata de refresco o una rosquilla: se refiere a una circunferencia abstracta, en la que las distancias son exactas y los puntos infinitamente pequeños. Esa circunferencia perfecta es causalmente inerte y, hasta donde sabemos, inaccesible. Pero entonces, ¿cómo podemos aprender cosas sobre ella sin algún tipo de «sexto sentido»?

Aquí radica el problema del realismo: no explica cómo descubrimos las propiedades de los objetos matemáticos abstractos.

Esto puede hacer que un matemático recule de su postura típicamente realista y se aferre al primer paso del proceso matemático, la invención. Al considerar las matemáticas como un ejercicio mental puramente formal, o como una completa ficción, el antirrealismo elude fácilmente los problemas epistemológicos.

El formalismo, un tipo de antirrealismo, es la postura filosófica que defiende que las matemáticas son como un juego y que los matemáticos simplemente están jugando y desarrollando sus reglas. Aseverar que el 7 es primo se asemejaría a afirmar que el caballo es la única pieza del ajedrez que puede moverse en forma de L. Otra postura filosófica, el ficcionalismo, sostiene que los objetos matemáticos son ficciones. Sostener que el 7 es primo sería como proclamar que los unicornios son blancos. Las matemáticas cobran sentido dentro de su universo ficticio, pero no poseen un significado real fuera de él.

Hay un conflicto inevitable. Si las matemáticas son inventadas, ¿cómo pueden formar una parte tan necesaria de la ciencia? Desde la mecánica cuántica hasta los modelos en ecología, las matemáticas constituyen una herramienta científica completa y precisa. Nadie espera que las partículas elementales se muevan de acuerdo con las reglas del ajedrez ni que la grieta que se forma en un plato se corresponda con el camino seguido por Hansel y Gretel. La carga de la descripción científica recae exclusivamente en las matemáticas, lo que las distingue de otros juegos o ficciones.

Al final, estas cuestiones no influyen en la práctica de los matemáticos, quienes son libres de elegir cómo interpretan su profesión. Como bien señalaron Philip Davis y Reuben Hersh en *La experiencia matemática*, «el típico matemático en activo es platónico los días laborables y formalista los domingos». Al canalizar todos los desacuerdos a través de un minucioso proceso que abarca tanto la invención como el descubrimiento, los matemáticos son tremendamente eficaces a la hora de generar consenso en su disciplina. IyC

PARA SABER MÁS

Logicomix: An epic search for truth. Apostolos Doxiadis y Christos H. Papadimitriou; ilustraciones de Alecos Papadatos y Annie Di Donna. Bloomsbury, 2009.
Where proof, evidence and imagination intersect. Patrick Honner en *Quanta Magazine*, marzo de 2019. Disponible en **www.quantamagazine.org/where-proof-evidence-and-imagination-intersect-in-math-20190314**

EN NUESTRO ARCHIVO

¿Qué son los números? Agustín Rayo en *IyC*, junio de 2009.
El teorema de Banch-Tarski. Gabriel Uzquiano en *IyC*, diciembre de 2009.
La irrazonable eficacia de las matemáticas. Mario Livio en *IyC*, noviembre de 2011.
Gödel y la verdad axiomática. Agustín Rayo en *IyC*, febrero de 2014.

COGNICIÓN

LA CONSTRUCCIÓN CEREBRAL DE LA REALIDAD

LA TEORÍA DE LA PERCEPCIÓN PREDICTIVA ARROJA LUZ SOBRE EL MODO EN QUE INTERPRETAMOS EL MUNDO

Anil K. Seth

[redacted]

«No vemos las cosas como son, las vemos tal y como somos.»

—*La seducción del Minotauro*, de Anaïs Nin (1961)

El pasado 10 de abril, el papa Francisco, el presidente de Sudán del Sur Salva Kiir y el antiguo jefe rebelde Riek Machar compartieron la misma mesa en una comida celebrada en el Vaticano. Comieron en silencio, como inicio de un retiro espiritual de dos días que perseguía la reconciliación tras una guerra civil que ha dejado 400.000 muertos desde 2013. Más o menos en aquel momento, en mi laboratorio de la Universidad de Sussex, el doctorando Alberto Mariola ponía fin a un nuevo experimento en el que unos voluntarios sentirían hallarse en una estancia que tomarían por real sin serlo. En los centros psiquiátricos de todo el mundo se atiende a personas que aseguran haber perdido el sentido de la realidad de las cosas, ya sea del mundo que las rodea o de ellas mismas. En las sociedades fracturadas en que viven, la distinción entre lo real y lo que no lo es parece cada día más difícil.

BROOK VANDEVELDER



Los bandos en conflicto experimentan y creen en realidades distintas. Tal vez comer juntos en silencio sirva de algo, pues ofrece un pequeño retazo de realidad común, una base firme desde la que llegar a un mayor entendimiento.

No es preciso dirigir la mirada a la guerra y a las psicosis para hallar universos interiores totalmente opuestos. En 2015, una fotografía mal expuesta de un vestido (*véase página siguiente*) corrió como la pólvora por Internet y dividió el mundo entre quienes lo veían de color azul y negro (yo mismo) y quienes lo veían blanco y dorado (la mitad de mi laboratorio) [*véase* «El misterio del vestido viral» por S. L. Macknik, S. Martinez-Conde y B. R. Conway en *MyC* n.º 75, 2015]. Aquellos que lo veían de un modo estaban tan convencidos de tener razón —que el vestido era realmente azul y negro o blanco y dorado— que casi les parecía inconcebible que alguien pudiera verlo de otro modo.

Todos sabemos que es fácil engañar a nuestros sentidos. La popularidad de las ilusiones ópticas da buena prueba del fenómeno. Las cosas parecen ser de un modo y se nos revelan de otro: dos líneas rectas semejan tener longitudes distintas, pero cuando las medimos comprobamos que son iguales; apreciamos movimiento en una imagen que sabemos inmóvil. El argumento habitual es que las ilusiones aprovechan peculiaridades de los circuitos de la percepción, de forma que lo percibido se desvía de lo que es. Sin embargo, el argumento lleva implícita la premisa de que un sistema perceptivo que opere correctamente reproducirá las cosas en nuestra consciencia con suma fidelidad.

La verdad más profunda es que la percepción nunca ha sido una ventana directa a la realidad objetiva. Todas nuestras percepciones son construcciones activas, conjeturas elaboradas por el cerebro acerca de la naturaleza del mundo, que siempre aparece desdibujada tras un velo sensorial. Las ilusiones ópticas son fracturas de la *Matrix*, atisbos fugaces de esa verdad más profunda.

Tomemos como ejemplo la experiencia del color, como el rojo brillante de la taza de café que hay sobre la mesa de mi despacho. La taza parece realmente roja: diríase que su rojez es tan real como su redondez y su solidez. Esos atributos de mi experiencia parecen propiedades genuinamente reales del mundo, captadas por los sentidos y reveladas a la mente a través de los complejos mecanismos de la percepción.

Pero desde los tiempos de Isaac Newton sabemos que los colores no existen como tales en el mundo. Son urdidos por el cerebro a partir de combinaciones de longitudes de onda de radiación electromagnética incolora. Los colores constituyen un truco inteligente del que la evolución ha dotado al cerebro para distinguir superficies en condiciones cambiantes de luz. La especie humana solo es capaz de percibir una estrecha franja del espectro electromagnético, la situada entre las bajas frecuencias de la luz infrarroja y las altas de la ultravioleta. Cada color que percibimos, cada parte de la totalidad del mundo visual propio de cada persona, proviene de esa pequeña porción de realidad.

Basta solo eso para reconocer que la experiencia perceptiva no puede ser una representación calcada del mundo exterior objetivo. Es a la vez más y menos que eso. La realidad que experimentamos —la apariencia de las cosas— no es un reflejo directo de lo que existe ahí fuera. Es una ingeniosa obra del cerebro para el cerebro. Y si mi órgano pensante es distinto al de otra persona, mi realidad bien pudiera ser distinta a la suya.

EL CEREBRO PREDICTOR

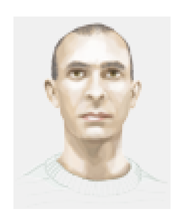
En el mito de la caverna de Platón, unos esclavos permanecen encadenados toda su vida a una pared blanca, de modo que solo pueden ver el juego de sombras que proyectan sobre ella los objetos que desfilan ante una fogata. Dan nombre a las sombras, pues para ellos constituyen la realidad. Un milenio después, pero todavía hace mil años, el sabio árabe Alhacén escribió que la percepción, en el aquí y el ahora, depende de los procesos de «razonamiento y deducción», y no del acceso directo a la realidad objetiva. De nuevo, siglos después, Immanuel Kant reparó en que la afluencia caótica y sin restricciones de los datos sensoriales devendría siempre en un galimatías de no ser por ciertas concepciones preexistentes o «creencias» que las estructuran, concepciones que a su juicio incluían nociones como el espacio y el tiempo. El vocablo kantiano «noúmeno» define una «cosa en sí» (*Ding an sich*), una realidad objetiva que siempre permanecerá inaccesible a la percepción humana.

Hoy ese planteamiento ha recobrado impulso a través de un conjunto influyente de teorías que han puesto en boga la idea de que el cerebro es una suerte de máquina predictiva y que la percepción del mundo, así como del yo contenido en él, es un proceso de predicción cerebral sobre las causas de las señales sensoriales.

El inicio de esas nuevas teorías suele atribuirse al médico y fisiólogo Hermann von Helmholtz, quien a finales del siglo XIX propuso que la percepción es un proceso de inferencia inconsciente. En las postrimerías del pasado siglo, los científicos cog-

Nuestras percepciones provienen del «adentro hacia fuera» en la misma medida, si no mayor, que del «afuera hacia dentro»

Anil K. Seth es profesor de neurociencia cognitiva y computacional en la Universidad de Sussex y codirector del Centro Sackler de Ciencias de la Consciencia de esa universidad. Sus investigaciones giran en torno a la base biológica de la consciencia.



EN SÍNTESIS

La realidad que percibimos no es un reflejo directo del mundo exterior objetivo.

Bien al contrario, es el producto de las predicciones que el cerebro hace sobre las causas de los estímulos sensoriales recibidos.

El sentido de realidad que acompaña a nuestras percepciones serviría para orientar nuestro comportamiento y responder así adecuadamente a la fuente de los estímulos.

nitivos y los expertos en inteligencia artificial tomaron prestadas sus ideas y las reformularon en lo que hoy se conoce como la codificación predictiva o el procesamiento predictivo.

La idea fundamental de la percepción predictiva es que el cerebro intenta averiguar lo que hay y lo que está sucediendo ahí fuera, en el mundo (o en el propio cuerpo) mediante una incesante elucubración y actualización de conjeturas sobre las causas de los estímulos sensoriales que recibe. Crea tales conjeturas cotejando y combinando expectativas o «creencias» previas sobre el mundo con los nuevos estímulos, al tiempo que analiza la fiabilidad de estos. Los científicos conciben normalmente este proceso como una forma de inferencia bayesiana, un marco de referencia que indica cómo poner al día las creencias o las conjeturas con datos nuevos cuando ambos vienen cargados de incertidumbre.

Según las teorías de la percepción predictiva, el cerebro realiza este tipo de inferencia bayesiana generando sin cesar predicciones de las señales sensoriales y comparando esas predicciones con las señales que llegan a los ojos y a los oídos (así como a la nariz y a las yemas de los dedos, y a las demás superficies sensoriales radicadas fuera y dentro del cuerpo). Las diferencias entre las señales predichas y las reales dan lugar a los llamados errores de predicción, de los que el cerebro se sirve para actualizar sus predicciones, dejándolo dispuesto para recibir la próxima tanda de señales. Con ese empeño en minimizar los errores de predicción en todo momento y lugar, el cerebro implementa una inferencia bayesiana aproximada, y lo que percibimos es la conjetura bayesiana más idónea resultante.

Para entender hasta qué punto esa perspectiva modifica nuestra visión sobre la base neurológica de la percepción, resulta útil pensar en flujos ascendentes y descendentes de señales que entran y salen del cerebro. Si suponemos que la percepción es una ventana directa a la realidad externa, entonces es natural pensar que el contenido de la percepción corre a cargo de las señales ascendentes, las que circulan desde las superficies sensoriales hacia el interior de la mente. Las señales descendentes podrían contextualizar o refinar lo que es percibido, pero nada más. Llamaremos a esta perspectiva «la apariencia de las cosas», porque da la impresión de que el mundo se nos esté revelando directamente a través de los sentidos.



EL VESTIDO VISIBLE en esta fotografía mal expuesta parece azul y negro a los ojos de algunas personas, y blanco y dorado a los de otras.

SWIKED.TUMBLR.COM

La hipótesis de la máquina predictiva se opone a esa idea. Aquí la ardua tarea que entraña la percepción recae en las señales descendentes que transmiten las predicciones perceptivas; el flujo sensorial ascendente únicamente sirve para calibrar esas predicciones: las mantiene vinculadas, de manera más o menos acertada, con sus causas en el mundo. Desde este punto de vista, nuestras percepciones provienen del «adentro hacia fuera» en la misma medida, si no más, que del «afuera hacia dentro». Más que un registro pasivo de una realidad objetiva externa, la percepción se erige como un proceso de construcción activa, una alucinación controlada, como se la ha acabado llamando.

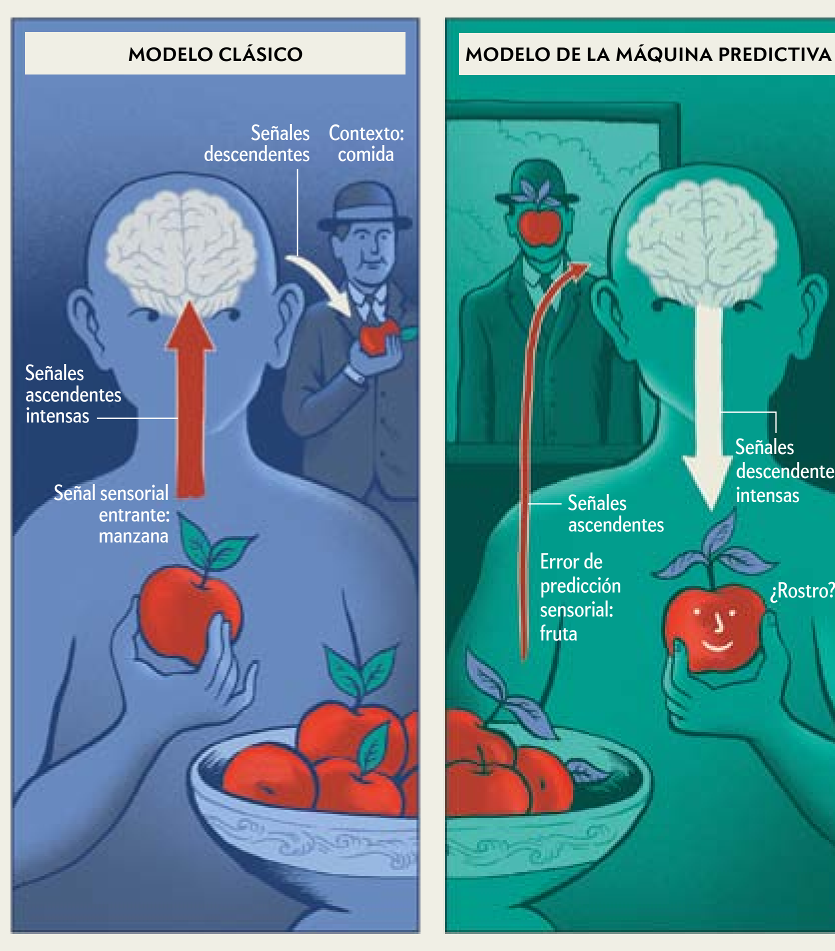
¿Por qué controlada? La gente tiende a pensar en la alucinación como en un tipo de percepción falsa, en claro contraste con la percepción normal, veraz y fiel a la realidad. En lugar de eso, la idea de la máquina predictiva plantea una continuidad entre la alucinación y la percepción normal. Ambas dependerían de la interacción entre las predicciones cerebrales descendentes y los datos sensoriales ascendentes, pero en el curso de las alucinaciones, las señales sensoriales dejarían de vincular adecuadamente esas predicciones descendentes con su origen en el mundo. Lo que llamamos alucinación, pues, sería solo una forma de percepción descontrolada, igual que la percepción normal sería una forma controlada de alucinación.

Semejante visión de la percepción no significa que nada sea real. En el siglo XVII, el filósofo John Locke concibió una distinción importante entre las cualidades «primarias» y «secundarias». Las cualidades primarias de un objeto, como la solidez y

la ocupación de espacio, existen esté presente o no un ser que las perciba. En cambio, las secundarias, como el color, solo existen si está presente tal ser. Esta distinción explica por qué entender la percepción como una alucinación controlada no significa que no suceda nada si uno se lanza ante un autobús. Este último posee cualidades primarias, como la solidez y la ocupación de espacio, que existen con independencia de nuestra maquinaria perceptiva y que pueden causarnos daño. Es el modo en que el autobús aparece ante nosotros lo que constituye una alucinación controlada, no el autobús en sí.

Los orígenes de la percepción

La hipótesis clásica de la percepción (*recuadro azul*) sostiene que esta es una ventana directa a la realidad externa. Las señales sensoriales fluyen en sentido ascendente, entran en el cerebro a través de los receptores ubicados en los ojos, los oídos, la nariz, la lengua y la piel para revelarnos el mundo exterior tal y como es. Las señales descendentes generadas en el seno del cerebro solo sirven para refinar lo percibido. En cambio, en la hipótesis de la máquina predictiva (*recuadro verde*) el contenido perceptivo es transmitido por predicciones descendentes hechas por el cerebro según su experiencia. El cometido de las señales ascendentes es básicamente comunicar los errores de predicción, que refrenan las hipótesis cerebrales. Así pues, en este modelo, la percepción es una alucinación controlada.



[redacted]

«VIAJE» EN EL LABORATORIO

Cada vez hay más indicios de que la percepción es una alucinación controlada, al menos a grandes rasgos. Un estudio de 2015 a cargo de Christoph Teufel, de la Universidad de Cardiff, y sus colaboradores ofrece un ejemplo sorprendente. En él se comparó la capacidad para reconocer imágenes bicolores de las personas sanas con la de un grupo de pacientes con psicosis incipiente proclives a sufrir alucinaciones.

Eche un vistazo a la fotografía de la página siguiente—un ejemplo de imagen bicolor. Probablemente todo lo que vea sea un puñado de manchas blancas y negras. Ahora, cuando termine de leer esta frase, mire la imagen de la última página. A continuación, vuelva a observar la primera foto; debería ver algo bastante distinto. Donde antes solo había salpicaduras, ahora aparecen objetos definidos.

Lo que me parece más llamativo de este ejercicio es que en el segundo examen de la foto bicolor, las señales sensoriales que captan nuestros ojos no han cambiado en absoluto respecto a la primera vez que la miramos. Lo único que ha variado son las predicciones del cerebro sobre las causas de esas señales. Usted ha adquirido una nueva perspectiva perceptiva de alto nivel, y eso es lo que modifica lo que ve conscientemente.

Si mostramos a la gente numerosas imágenes bicolores, seguidas por las pertinentes fotografías sin retocar, la mayoría lograría reconocer buena parte de las imágenes bicolores, aunque no todas. En el estudio de Teufel, las personas con psicosis incipiente las reconocían mejor que las personas sanas que actuaban como controles. En otras palabras, la tendencia a padecer alucinaciones vino acompañada de antecedentes perceptivos que ejercían un efecto más intenso sobre la percepción. Eso es justo lo que cabría esperar si las alucinaciones propias de la psicosis dependieran de un exceso de antecedentes perceptivos que desbordase los errores de predicción sensorial y desatase conjeturas perceptivas de sus causas en el mundo.

Investigaciones recientes han revelado más aspectos de este fenómeno. En la Universidad Yale, Phil Corlett y sus colaboradores emparejaron luces y sonidos en un estudio de diseño simple con el fin de generar expectativas en los participantes acerca de si una luz aparecería o no en el curso de una prueba. Combinaron esa prueba con la obtención de neuroimágenes para averiguar qué regiones del cerebro participaban en la percepción predictiva. Tras examinar los datos, el equipo de Corlett

MATTEO FARINELLA

dedujo la implicación específica de regiones como el surco temporal superior, una zona profunda del lóbulo temporal de la corteza, en las predicciones descendentes sobre las sensaciones auditivas. Se trata de un avance interesante en la cartografía de la base cerebral de las alucinaciones controladas.

En mi laboratorio hemos adoptado otro enfoque para explorar la naturaleza de la percepción y la alucinación. En lugar de observar directamente el cerebro, decidimos simular la influencia de los antecedentes perceptivos hiperactivos por medio de un singular montaje de realidad virtual concebido por nuestro genial residente en esa disciplina, Keisuke Suzuki. Con una buena dosis de ironía, lo llamamos la «máquina alucinógena».

Con una cámara de 360 grados grabamos un vídeo panorámico de una concurrida plaza del campus de la Universidad de Sussex, un martes a la hora de comer. Pasamos la grabación por un algoritmo basado en el programa de inteligencia artificial de Google, DeepDream, con el propósito de crear una alucinación simulada. Lo que sucede es que el algoritmo toma una de las llamadas redes neuronales (uno de los principales recursos de la inteligencia artificial) y la ejecuta hacia atrás. La red que usamos ha sido entrenada para reconocer objetos presentes en las imágenes, así que si se la pone en marcha hacia atrás, actualizando la entrada a la red en lugar de la salida, proyecta como imagen lo que ella «cree» que hay. Sus predicciones desbordan las señales sensoriales entrantes e inclina la balanza de las conjeturas perceptivas hacia esas predicciones. Nuestra red particular clasificaba bastante bien diversas razas de perros, así que el vídeo apareció extrañamente plagado de presencias caninas.



ESTA IMAGEN BICOLOR parece una mezcla de manchas blancas y negras, hasta que uno ve la imagen sin retocar de la última página.

RICHARD ARMSTRONG, GETTY IMAGES

Numerosas personas que han visionado la grabación retocada a través de un visor de realidad virtual han comentado que la experiencia les recuerda más a la fenomenología eufórica de los viajes psicodélicos que a las alucinaciones psicóticas.

Poner en marcha la máquina alucinógena de modos levemente distintos permite generar diversos tipos de experiencia consciente. Por ejemplo, si se activa la red neural de forma retrógrada desde una de sus capas intermedias y no desde la capa de salida, se generan alucinaciones con partes de objetos, en lugar de con objetos enteros. De cara al futuro, este método nos ayudará a relacionar características concretas de la arquitectura computacional de la percepción predictiva con aspectos específicos de cómo son las experiencias alucinatorias. Y si entendemos mejor las alucinaciones, podremos comprender mejor la experiencia normal, puesto que la percepción predictiva se halla en el origen de toda nuestra experiencia perceptiva.

LA PERCEPCIÓN DE LA REALIDAD

No cabe duda de que pasar por la máquina alucinógena es una experiencia pseudopsicodélica, pero los participantes saben perfectamente que lo que están experimentando no es real. Y es que, a pesar de los rápidos avances técnicos en el campo de la realidad virtual y de los gráficos informáticos, ningún montaje virtual ofrece hoy una experiencia lo bastante convincente como para pasar por real.

Ese es el guante que recogimos cuando emprendimos el diseño de un nuevo montaje de «realidad sustituta» en Sussex (en el que estábamos trabajando cuando el papa Francisco mantuvo el retiro espiritual con Salva Kiir y Riek Machar). Nuestra meta era crear un sistema en el que los voluntarios experimentasen un ambiente como real y creyesen que lo era, sin serlo.

La idea básica es sencilla. Grabamos nuevamente de antemano un vídeo panorámico, esta vez del interior de nuestro laboratorio, en lugar de una escena al aire libre del campus. A la gente que acudió al laboratorio se le invitó a sentarse en un taburete en mitad de la sala y a colocarse un visor de realidad virtual que incorporaba una cámara al frente. Se les instaba a mirar la sala a través de la cámara y verla como es en realidad. En cierto momento pasábamos a emitir sin previo aviso la grabación, de modo que el visor dejaba de proyectar en directo la escena real y reproducía el vídeo panorámico grabado. La mayoría de las personas inmersas en esa situación siguió percibiendo lo que estaban presenciando como si fuera real, pese a ser ahora una grabación ficticia. (Algo sumamente difícil de conseguir, pues exige un alineamiento de la imagen y un balance de color meticulosos para que no perciban ninguna diferencia que delate el cambio.)

En mi opinión, se trata de un resultado asombroso, pues indica que es posible hacer pasar un entorno irreal por otro absolutamente real. Esta demostración ensancha por sí sola las fronteras de la investigación en el campo de la realidad virtual: ya es posible poner a prueba los límites de lo que la gente podría experimentar como real y creer que lo es. Asimismo, nos permite investigar de qué modo el hecho de experimentar objetos como reales puede influir en otros aspectos de la percepción. En este

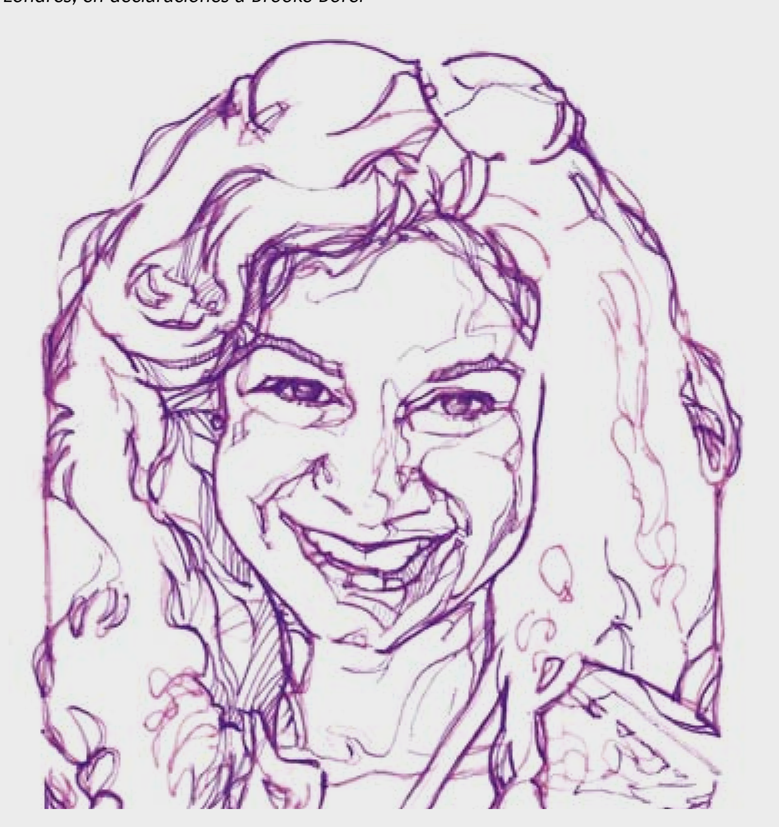
LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN PALEOBIOLOGÍA

La unidad básica de verdad en paleobiología es el fósil, un testimonio inequívoco de la vida pretérita, pero también nos servimos de pruebas genéticas obtenidas de los organismos vivientes para ubicar los fósiles en el árbol de la vida. En conjunto, esos datos nos ayudan a entender la evolución de las formas de vida y los vínculos que mantienen entre sí. Puesto que estudiamos animales extintos que vivían inmersos en un ecosistema mayor, tomamos información de otros campos: el análisis químico de las rocas circundantes permite hacernos una idea de la antigüedad del fósil, de dónde podrían haber estado los continentes en aquella época, qué cambios ambientales estaban ocurriendo, etcétera.

Para descubrir los fósiles, peinamos el paisaje para vislumbrarlos entre las rocas. Es posible distinguir uno de una piedra antigua por su morfología y su estructura interna. Un hueso fosilizado contiene cilindros diminutos, llamados osteonas, por donde los vasos sanguíneos atravesaban el tejido óseo. Algunos fósiles son inconfundibles: el fémur entero de un dinosaurio es un hueso de dimensiones gigantescas. Los fragmentos pequeños también pueden ser reveladores. En los mamíferos, mi tema de estudio, es posible averiguar mucha información a partir de la morfología de un único diente. Y podemos combinar esos datos con los genéticos. Estos los obtenemos de muestras de ADN de especies vivas que creemos emparentadas con los fósiles, en virtud de la anatomía y de otros indicios.

No solo emprendemos esas investigaciones para reconstruir el mundo del pasado, sino también para averiguar qué pueden decirnos sobre el mundo contemporáneo. Hace 55 millones de años hubo un enorme repunte de la temperatura, en nada equiparable al actual, pero aun así hemos descubierto cambios drásticos en la fauna y la flora de la época. La comparación de esos cambios podría indicarnos de qué modo podrían responder al cambio climático en curso los organismos actuales emparentados con los de ese período.

Anjali Goswami, *profesora e investigadora principal en el Museo de Historia Natural de Londres, en declaraciones a Brooke Borel*



momento estamos llevando a cabo un experimento con el que pretendemos averiguar si las personas no detectan tan bien los cambios inesperados en la habitación cuando creen que lo que están experimentando es real. De ser eso cierto (el estudio sigue en curso), el descubrimiento avalaría la idea de que la percepción de las cosas como reales en sí mismas actuaría como un antecedente de alto nivel que modelaría de forma notable nuestras conjeturas perceptivas e influiría en el contenido de lo que percibimos.

LA REALIDAD DE LA REALIDAD

La idea de que el mundo de nuestra experiencia podría no ser real constituye un tema recurrente en la filosofía y en la ciencia ficción, tanto como en las charlas trasnochadas de bar. En la película *Matrix*, Neo toma la píldora roja y Morfeo le muestra cómo lo que él pensaba que era real es una simulación refinada, mientras que su yo real yace tendido en una granja de cuerpos humanos que proporcionan una fuente de energía envasada a una ciberinteligencia distópica. El filósofo Nick Bostrom, de la Universidad de Oxford, ha planteado un polémico argumento, basado en gran medida en estadísticas, de que es probable que vivamos inmersos en una simulación informática creada en una era posthumana. Discrepo de ese argumento porque presupone que la consciencia es simulable, y no creo que sea una premisa correcta, pero aun así resulta sugerente.

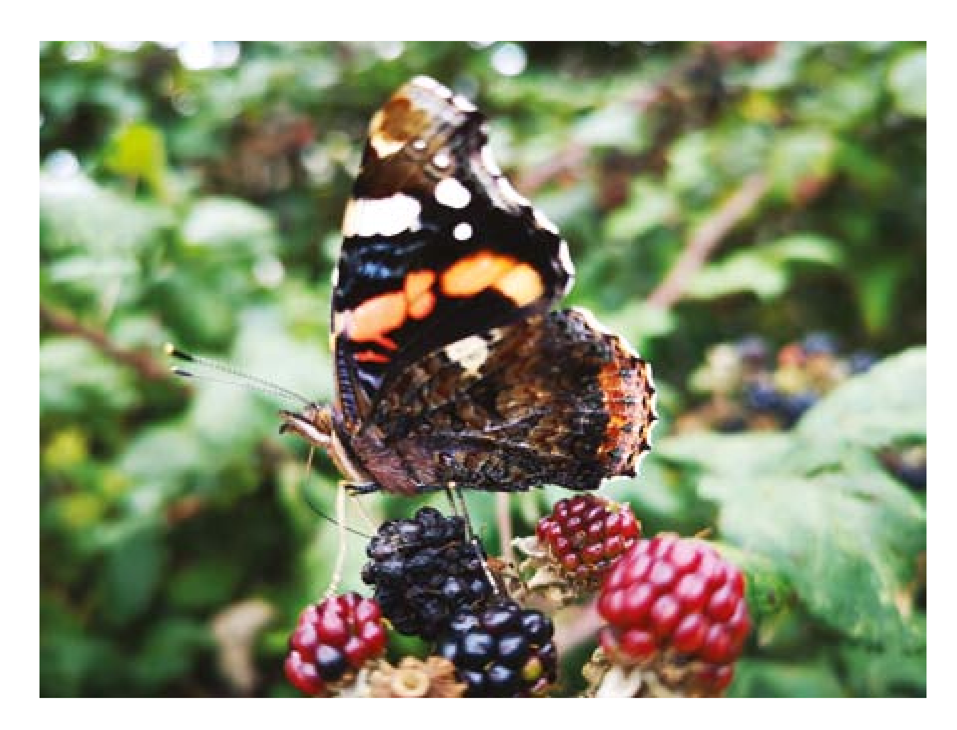
Elucubrar sobre esa clase de cuestiones metafísicas peliagudas quizá nos divierta, pero probablemente son imposibles de resolver. En cambio, lo que hemos estado explorando a lo largo del presente artículo es la relación entre la apariencia y la realidad de nuestras percepciones conscientes, donde parte de esa apariencia es la apariencia de ser real en sí mismo.

La idea fundamental es que la percepción constituye un proceso de interpretación activa destinado a la interacción adaptativa con el mundo a través del cuerpo, más que a la recreación del mundo en la mente. Los contenidos de nuestros mundos perceptivos son alucinaciones con-

BUD COOK

troladas, conjeturas cerebrales sobre las causas de las señales sensoriales, que en el fondo son incognoscibles. Y la mayoría de nosotros casi siempre experimenta esas alucinaciones controladas como reales. Tal y como el rapero y divulgador científico canadiense Baba Brinkman me sugirió, tal vez lo que definimos como realidad sea el consenso en nuestras alucinaciones.

Ahora bien, no siempre concordamos y no siempre experimentamos las cosas como reales. Las personas con trastornos mentales disociativos, como el síndrome de despersonalización o desrealización, describen que sus mundos perceptivos, incluso ellos mismos, carecen del sentido de realidad. Ciertos tipos de alucinación, entre ellos diversas alucinaciones psicodélicas, combinan un sentido de irrealidad con la viveza perceptiva, como lo hace el sueño lúcido. Las personas con sinestesia experimentan sistemáticamente experiencias sensoriales que saben reconocer como irreales, como percibir colores cuando ven letras negras. Aun con la percepción normal, si se mira directamente el sol se notará la imagen residual retiniana como irreal. Son múltiples los modos en que experimentamos percepciones que no son del todo reales.



GIRO PERCEPTIVO: Ver esta fotografía altera lo que uno ve conscientemente en la imagen bicolor de la página 33.

RICHARD ARMSTRONG, GETTY IMAGES

Para mí, ello significa que el sentido de realidad que acompaña a la mayoría de nuestras percepciones no debe darse por sentado. Este es otro aspecto del modo en que nuestro cerebro se apoya en sus conjeturas bayesianas sobre sus causas sensoriales. Uno puede preguntarse a qué propósito sirve. Tal vez la respuesta sea que una conjetura perceptiva que incluya la propiedad de ser real normalmente será más adecuada para el fin (esto es, más adecuada para orientar nuestro comportamiento) que una que no la incluya. Nos comportaremos de un modo más conveniente ante una taza de café, un autobús que se acerca o el estado de ánimo de nuestra pareja si los experimentamos como si existieran de veras.

Pero hay una contrapartida. Tal y como ilustra la ilusión del vestido, cuando experimentamos las cosas como reales, tendemos a no apreciar que nuestro mundo perceptivo puede diferir del de los demás. (La explicación más aceptada sobre la percepción dispar de la prenda de vestir sostiene que las personas de hábitos eminentemente diurnos lo ven blanco y dorado, en tanto que los noctámbulos, expuestos sobre todo a la luz artificial, lo ven azul y negro.) Y aunque esas diferencias sean pequeñas de partida, se comenzarán a consolidar y a reforzar conforme comencemos a recopilar información de modo distinto, escogiendo los datos sensoriales que encajan mejor con nuestros incipientes modelos individuales del mundo, modelos perceptivos que iremos poniendo al día con esos datos sesgados. Todos estamos familiarizados con ese proceso, desde las cajas de resonancia que constituyen las redes sociales hasta los periódicos que preferimos leer. Lo que estoy planteando es que esos mismos principios también serían aplicables a un nivel más profundo, el que subyace bajo nuestras creencias sociopolíticas, hasta el propio entramado de nuestras realidades perceptivas. Incluso podrían aplicarse a la percepción de uno mismo, puesto que la experiencia de ser uno mismo es en sí una percepción.

Por todas esas razones, entender los mecanismos constructivos y creativos de la percepción reviste una relevancia social inesperada. Quizá cuando sepamos apreciar mejor la diversidad de realidades que experimentan los miles de millones de cerebros que pueblan el planeta, hallaremos nuevas bases sobre las cuales construir un entendimiento común y un futuro mejor, ya sea entre los bandos beligerantes de una guerra civil, entre militantes de partidos políticos antagónicos o entre dos personas que comparten el mismo techo y tengan que lavar los platos. IyC

PARA SABER MÁS

Shift toward prior knowledge confers a perceptual advantage in early psychosis and psychosis-prone healthy individuals. Christoph Teufel et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 112, n.º 43, págs. 13401-13406, 27 de octubre de 2015.

A Deep-Dream virtual reality platform for studying altered perceptual phenomenology. Keisuke Suzuki et al. en *Scientific Reports*, vol. 7, artículo n.º 15982, 22 de noviembre de 2017.

Being a beast machine: The somatic basis of selfhood. Anil K. Seth y Manos Tsakiris en *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 22, n.º 11, págs. 969-981, 1 de noviembre de 2018.

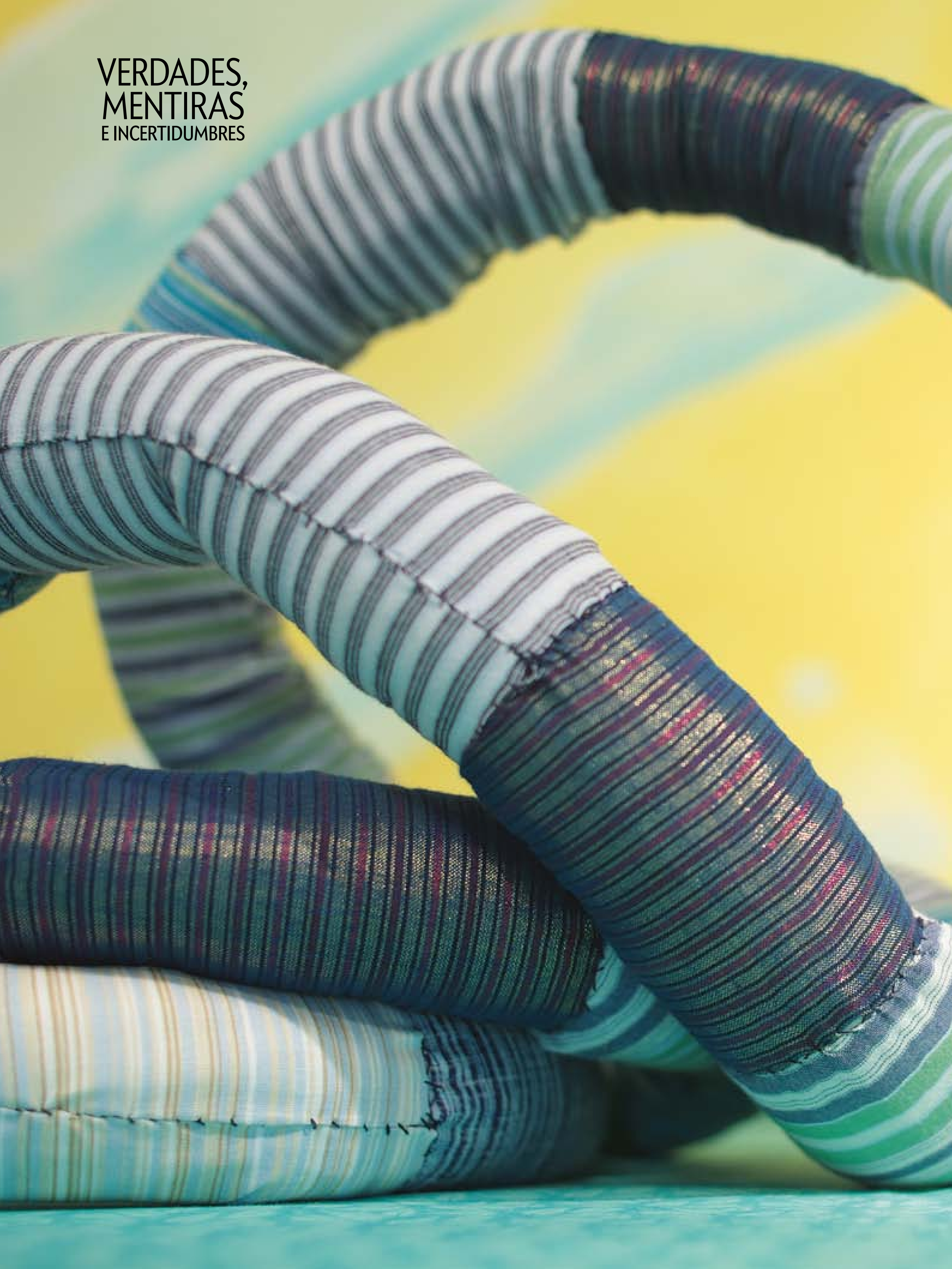
EN NUESTRO ARCHIVO

Filosofía y psicología de la realidad. Christian Hoppe en *MyC* n.º 39, 2009.

El cerebro bayesiano. Dominik R. Bach en *MyC* n.º 69, 2014.

Clics, mentiras y cintas de vídeo. Brooke Borel en *IyC*, diciembre de 2018.

VERDADES, MENTIRAS E INCERTIDUMBRES



PARTE 2:

MENTIRAS





Ilustración de Red Nose Studio

COMPORTAMIENTO ANIMAL

LOS ANIMALES TAMBIÉN MIENTEN

NUESTRA ESPECIE NO ES LA ÚNICA QUE ENGAÑA. EL FRAUDE ABUNDA EN EL REINO ANIMAL

Barbara J. King



Barbara J. King es profesora emérita de antropología en el Colegio William and Mary. Sus estudios sobre simios inferiores y antropomorfos la han llevado a investigar la emoción y la inteligencia en un gran número de especies animales.

En los últimos tiempos, da la impresión de que el mundo animal es de color de rosa. Las pruebas de la existencia de cooperación y compasión en criaturas que nadan, vuelan y caminan han atraído la imaginación del público. En el océano, los meros, los lábridos y las anguilas forman un equipo de especies que colaboran para atacar a sus presas, ponerlas al descubierto y luego comérselas. En el cielo, los maluros variegados y los maluros espléndidos se reconocen entre sí, forman uniones estables y defienden conjuntamente rodales de eucaliptos. Entre las gallinas, las madres muestran una aflicción empática cuando ven que sus pollos sienten algún malestar. Los chimpancés corren a consolar al perdedor de una pelea, incluso a pesar de no haber formado parte del altercado. Y, en un acto de sacrificio, las ratas dejan de lado una recompensa de chocolate para rescatar a compañeras atrapadas en un pequeño depósito de agua.

Durante siglos, los etólogos exageraron el papel de la rivalidad y la violencia entre los animales. Era necesario realizar estudios centrados en la amabilidad y el cuidado para contrarrestar ese punto de vista anticuado que afirmaba que la naturaleza es cruel y despiadada, tal como escribió el poeta Alfred Tennyson. Sin embargo, al derretirnos ante la dulzura animal, existe el riesgo de que el péndulo oscile demasiado y acabe eclipsando una parte de la historia. Numerosos animales emiten señales con información falsa para engañar a otros individuos, tanto de la propia especie como de otras. Confunden, hacen trampas y mienten utilizando toda clase de engaños.

MENTIRA PREMEDITADA

El engaño en los animales no humanos se define como el envío de señales falsas en un intento de modificar el comportamiento de otro animal de tal forma que beneficie al emisor. Las sepias son maestras del fraude. Parientes de los pulpos, tienen la capacidad de cambiar rápidamente de color gracias a los cromatóforos, unas células de la piel que contienen pigmentos. Su capacidad para disfrazarse puede convertir el apareamiento en un asunto turbulento. En 2017, biólogos marinos dirigidos por Justine Allen, de la Universidad Brown, informaron de lo que observaron mientras buceaban en el mar Egeo, frente a las costas de Turquía: una sepia común macho se acercó a una hembra y esta se alejó con evidente indiferencia. El macho se camufló mimetizándose con el fondo durante seis minutos, mientras, al parecer, la hembra no se percataba de su presencia. Y entonces, de repente, se lanzó sobre ella y la agarró, y ambos se aparearon cabeza con cabeza.

En la especie australiana *Sepia plangon*, el engaño va más allá del camuflaje. Cuando un macho nada entre una hembra a su izquierda y un macho competidor a su derecha, emite dos clases de señales con información opuesta. Mientras que desde su lado izquierdo produce las señales típicas de un macho durante el cortejo, en su lado derecho, emite las de una hembra. Así que, para el competidor masculino, ese pretendiente parece ser solo otra hembra. Brillante, ¡y muy astuto!

El biólogo Culum Brown, de la Universidad Macquarie, en Sídney, y su equipo llaman a esta doble señalización del macho «engaño táctico», porque lo utiliza con premeditación. Se produce en un contexto específico (cuando un macho corteja a una hembra en presencia de otro macho rival). El camuflaje, el mimetismo y el engaño táctico son tres clases fundamentales de engaño en el mundo animal, siendo borrosas las

LISK FENG



LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL



La cuestión epistemológica más importante en el campo del aprendizaje automático es: ¿qué capacidad tenemos para demostrar una hipótesis?

Los algoritmos aprenden a detectar patrones y detalles a partir de conjuntos enormes de ejemplos; identifican así un gato después de ver miles de fotografías de ellos. Mientras no tengamos una mayor capacidad de interpretación, podemos probar cómo se ha llegado a un resultado recurriendo a las conclusiones de los algoritmos. Ello hace aparecer el fantasma de que no tenemos una responsabilidad real sobre los resultados de los sistemas de aprendizaje profundo, por no hablar de sus efectos sobre las instituciones sociales. Semejantes temas forman parte de un vivo debate en este campo.

Otra pregunta que nos surge es: ¿representa el aprendizaje automático una suerte de rechazo del método científico, el cual aboga por encontrar, no solo correlaciones, sino también causalidades? En muchos estudios de aprendizaje automático, la correlación se ha convertido en el nuevo principio rector, dejando de lado la causalidad. Eso plantea verdaderas cuestiones sobre la verificabilidad.

En algunos casos, puede que debamos dar un paso atrás, como en el campo de la visión automática y el reconocimiento de las emociones. Se trata de sistemas que extrapolan a partir de fotografías de personas para predecir su raza, género, sexualidad o posibilidad de ser criminal. Estos enfoques preocupan desde el punto de vista científico y ético (por la influencia de la frenología y la fisiognomía). Centrarse en la correlación debería despertar sospechas profundas acerca de nuestra capacidad para hacer afirmaciones sobre la identidad de las personas. Esa es una declaración muy enérgica, pero, dadas las décadas de investigaciones sobre estos temas en las humanidades y las ciencias sociales, no debería resultar polémica.

Kate Crawford, *profesora distinguida de la Universidad de Nueva York, cofundadora del Instituto AI Now en dicha universidad y miembro del comité de asesores de* Scientific American, *en declaraciones a Brooke Borel*

fronteras entre las diversas categorías, como ilustra el ejemplo de la sepia. Cuando los intentos de engañar se realizan de forma intencionada, ya sea mediante camuflaje, mimetismo o algún otro comportamiento, se trata de un engaño táctico.

Como primates visuales que somos, los humanos tendemos a reconocer el engaño que se produce a través de las imágenes. Pero también pueden ser confundidos otros sentidos. Un pájaro con una gran variedad de cantos llamado drongo ahorquillado, del desierto del Kalahari, en África, emite llamadas de alarma al detectar la presencia de depredadores. A veces son señales que benefician no solo a otros drongos, sino también a otras especies, como los turdoides bicolor y los suricatas, que se esconden a toda prisa cuando oyen los sonidos de alerta. Pero los drongos no siempre se muestran tan honestos. Por ejemplo, si uno de ellos ve que un suricata tiene entre sus zarpas una presa especialmente jugosa, como puede ser un geco, el pájaro emite una señal de alarma sin que haya un depredador a la vista. Al oírla, el suricata suelta la presa y corre a toda velocidad a su escondite. El drongo la recoge y se la come. El zoólogo Tom P. Flower, hoy en la Universidad Capilano, en la Columbia Británica, y sus colaboradores han descubierto que el robo de alimento supone casi una cuarta parte de la ingesta de los drongos. Estas aves han evolucionado de tal forma que aprovechan cualquier oportunidad de añadir alguna delicia robada a su dieta.

La inclinación de los drongos al engaño no acaba aquí. Lo habitual en el mundo animal es emitir señales honestas. Si a la misma audiencia se le comunican demasiadas mentiras, el juego se habrá terminado, porque los compañeros del impostor se acabarán dando cuenta. Después de todo, el síndrome de «Pedro y el lobo» funciona en otros animales, además de en los niños. La evolución ha dado forma al repertorio vocal de los drongos en consecuencia: según Flower y sus colaboradores, estos pájaros tienen al menos 51 falsas alarmas que utilizan durante los repetidos intentos de hurto de alimento. Para poder engañar más de una vez a las mismas víctimas, los drongos cambian la alarma sonora casi un 75 por ciento de las veces y, en un espectacular acto de traición, a menudo imitan la de sus propias víctimas. Esta combinación estratégica de mimética vocal y engaño táctico hace que los receptores siempre tomen por verdadera la señal, lo que da ventaja a los drongos. Al igual que con las sepias, los drongos engañan de modo intencionado. Al menos esa es la hipótesis. En ambos casos las señales falsas no se emiten de cualquier manera, sino

EN SÍNTESIS

Los humanos no son los únicos que mienten. Se ha descubierto que una amplia variedad de animales emite mensajes falsos.

Los animales pueden engañar tanto a miembros de su especie como a los de otras mediante el camuflaje o el mimetismo.

Cuando las señales falsas se han emitido intencionadamente reciben el nombre de engaño táctico, una estrategia realizada por animales tan dispares como sepias y perros.

BUD COOK





ANIMALES MENTIROSOS: La mosca de la fruta (*1*), *Sepia plangon* (*2*) y el drongo ahorquillado (*3*) son algunas de las muchas especies que se ha visto que engañan.



después de una sesuda evaluación de la dinámica del mundo social del animal.

Tal como ha evolucionado la tendencia humana hacia el engaño intencionado, no resulta sorprendente que nuestros parientes vivos más cercanos, los simios inferiores y los antropomorfos, se hallen entre los mejores animales timadores. El primatólogo Frans de Waal, de la Universidad Emory, ha contado varias veces que Yeroen, un chimpancé del zoo de Arnhem, cojeaba solo en presencia de su rival más poderoso, Nikkie, una cojera falsa con la que esperaba ganarse su compasión. La investigación sistemática con chimpancés y muchas clases de monos demuestra que estos primates idean formas para distraer y engañar a sus compañeros cuando lo que hay en juego es un apareamiento o un alimento que quieren para sí mismos.

TIMO INCONSCIENTE

La complejidad, incluso la elegancia, del engaño animal no depende de una intención consciente. La conocida como araña magnífica de Australia caza polillas de noche utilizando una bola de seda pegajosa. En lugar de hilar una telaraña para cazar a sus presas, produce una única hebra de seda con una bola en su extremo final y zarandea el hilo en una zona en la que haya polillas. Y aquí viene la parte maquiavélica de la historia: las bolas desprenden una feromona que imita el aroma de una polilla hembra. Atraídas por ese irresistible olor, las polillas macho aletean cerca y quedan atrapadas en la pegajosa seda. La araña puede engullir las polillas en ese mismo momento o almacenarlas para comérselas más tarde. Nada hace pensar que el engaño de las arañas sea una estrategia planeada. En cambio, sí podemos decir que la evolución ha fomentado esa conducta porque mejora su éxito reproductivo.

El mismo mecanismo explica el engaño utilizado por las moscas de la fruta. Estos insectos no esconden sus tendencias caníbales (las larvas jóvenes se comen sin reparos a los individuos más viejos o heridos). Sin embargo, rara vez sorben los huevos. La ecóloga Sunitha Narasimha, de la Universidad de Lausana, y su equipo han descubierto por qué. Resulta que una feromona exudada por las progenitoras sella los huevos e impide así que los olores delatores se filtren, con lo que consigue enmascarar la puesta ante las diminutas caníbales. Es una forma elegante de ocultar los huevos en una especie que no se caracteriza por la protección parental.

El sexo y la reproducción ofrecen un contexto propicio en el que utilizar señales falsas. Entre las aves, las hembras del cuco son famosas por depositar sus huevos en nidos de otras hembras y luego huir de la escena. Las madres de esos nidos son engañadas para que cuiden a una descendencia que no es suya. Este comportamiento está muy extendido y puede observarse en otras especies. El llamado parasitismo de cría coespecífico, que no es más que el engaño dentro de la misma especie y que consiste en colocar un huevo «gorrón» en otro nido, es practicado por unas 200 especies de aves.

En algunos animales, el engaño empieza antes de engendrar descendencia. En ocasiones, la hembra de la trucha marrón se estremece con violencia como si estuviera a punto de depositar los huevos cuando no es así. En un estudio de 2001 en el que se analizó este llamativo comportamiento, Erik Petersson y Torbjörn Järvi, ambos del Consejo Nacional de Pesca de Suecia, lo denominaron «orgasmo falso». Como respuesta, los machos engañados sueltan su esperma, aunque no fecundará nada. ¿Por qué las hembras gastan energía en esa conducta? Puede que solo estén intentado desalentar a los machos no deseados. Pero, de modo intrigante, Petersson y Järvi descubrieron que la frecuencia de los orgasmos falsos aumentaba cuando las hembras se acercaban al período real de desove. Por lo que también podría deberse a que las hembras buscan (y lo consiguen) que numerosos machos liberen su esperma porque, de esa manera, aumenta la posibilidad de que sean varios los que fecunden los huevos.

MENTIROSOS CASEROS

Incluso en nuestro propio hogar, los animales pueden mentir. Los perros son alabados por su lealtad suprema, aunque la imagen real es algo más compleja. Al estudiar perros domesticados, la etóloga Marianne Heberlein, de la Universidad de Zúrich, hizo que los animales interactuaran con una de dos mujeres posibles:

ALONGKOT SUMRITJEARAPOL, GETTY IMAGES (1); S. ROHRLACH, GETTY IMAGES (2); TREVOR PLATT, GETTY IMAGES (3)

mientras una compartía la comida con ellos (la llamaremos Sra. Cooperadora), la otra no la compartía y se la comía ella (la Sra. Competidora). Los perros podían a continuación conducir a esas socias hacia un alimento preferido, a otro no preferido o a un lugar en el que no había ninguno. El primer día, los perros condujeron a la Sra. Cooperadora con más frecuencia al lugar donde había la comida preferida. El segundo día, habían adquirido más conocimientos sobre su situación. Ahora llevaban a la Sra. Competidora con menos frecuencia al lugar donde había una comida preferida e inhibían su comportamiento de búsqueda de la comida preferida en su presencia.

Como sabe cualquiera que haya vivido con perros, no renuncian fácilmente a alimentos que les entusiasman. En apariencia, los de este experimento querían aumentar las posibilidades de obtener más tarde el manjar apetitoso, y sabían que engañando a la egoísta Sra. Competidora podían conseguirlo. Puede ser, también, como dice Heberlein, que simplemente no les entusiasmara que un humano desagradable recibiese una recompensa. Fuera cual fuera su motivación, el engaño de los perros era táctico.

¿Qué aprendemos aquí que nos resulte útil? Seamos buenos con los perros y, por supuesto, ellos lo serán con nosotros. Y, en un sentido más amplio, la hipocresía animal puede ponerse en práctica con conocimiento y, a veces, incluso con entusiasmo. Por esta razón, podemos ver algo de nosotros mismos en los perros, en las sepias que emiten señales falsas a la hora de aparearse y en los pájaros que engañan para robar comida. E incluso en todas esas especies (incluidas las que engañan sin premeditación), los mismos individuos pueden actuar de forma honesta en algunas circunstancias y conspiradora en otras. Puede que esta naturaleza variable nos resulte familiar. IyC

PARA SABER MÁS

«False orgasm» in female brown trout: Trick or treat? Erik Petersson y Torbjörn Järvi en *Animal Behaviour*, vol. 61, n.º 2, págs. 497-501, febrero de 2001.
It pays to cheat: Tactical deception in a cephalopod social signalling system. Culum Brown et al. en *Biology Letters*, vol. 8, n.º 5, págs. 729-732, 23 de octubre de 2012.
Deception by flexible alarm mimicry in an African bird. Tom P. Flower et al. en *Science*, vol. 344, págs. 513-516, 2 de mayo de 2014.
Chimpanzees strategically manipulate what others can see. Katja Karg et al. en *Animal Cognition*, vol. 18, n.º 5, págs. 1069-1076, septiembre de 2015.
Deceptive-like behaviour in dogs (*Canis familiaris*). Marianne T. E. Heberlein et al. en *Animal Cognition*, vol. 20, n.º 3, págs. 511-520, mayo de 2017.
***Drosophila melanogaster* cloak their eggs with pheromones, which prevents cannibalism.** Sunitha Narasimha et al. en *PLOS Biology*, vol. 17, n.º 1, artículo n.º e2006012, 10 de enero de 2019.

EN NUESTRO ARCHIVO

¿Es sincero el canto de las aves? William A. Searcy y Stephen Nowicki en *IyC*, agosto de 2008.
Maestros del disfraz. Peter Forbes en *IyC*, julio de 2011.
El ingenio de los cefalópodos. Ángel Guerra en *IyC*, mayo de 2019.

CIENCIA DE REDES

¿POR QUÉ CONFIAMOS EN MENTIRAS?

LA DESINFORMACIÓN MÁS EFICAZ COMIENZA CON SEMILLAS DE VERDAD

Cailin O'Connor y James Owen Weatherall

[redacted]

A mediados del siglo XIX, una oruga del tamaño de un dedo invadió el noreste de Estados Unidos. La aparición del gusano del tomate vino acompañada de aterradores relatos sobre envenenamientos letales y comportamientos agresivos hacia las personas. En julio de 1869, los periódicos regionales publicaron alertas sobre el insecto, asegurando que le había causado «espasmos y finalmente la muerte» a una joven del estado de Nueva York. Ese otoño, el *Syracuse Standard* presentó un informe de un tal Dr. Fuller, que había capturado un ejemplar enorme. El médico advertía de que la oruga era «tan venenosa como una serpiente de cascabel» y afirmaba que tenía constancia de tres fallecimientos relacionados con su veneno.

Aunque el gusano del tomate es un insecto voraz que puede aniquilar una tomatera en cuestión de días, es inofensivo para el ser humano. Los entomólogos lo sabían decenios antes de que Fuller publicara su dramática historia, así que esta fue objeto de burla entre los expertos. Entonces, ¿por qué persistieron los rumores a pesar de que teníamos la verdad al alcance

LISK FENG



de la mano? Las personas aprendemos en sociedad. Desarrollamos la mayoría de nuestras creencias a partir del testimonio de gente de confianza, como nuestros profesores, padres y amigos. La transmisión social del conocimiento es un ingrediente esencial de la cultura y la ciencia. Pero, como demuestra la historia del gusano del tomate, presenta un gran punto débil: en ocasiones, las ideas que difundimos son incorrectas.

En los últimos cinco años se ha prestado mucha atención a las formas en que puede fallar la transmisión social del conocimiento. La información engañosa compartida en las redes sociales ha alimentado una epidemia de falsas creencias sobre diversos temas, desde la prevalencia del fraude electoral hasta la seguridad de las vacunas. Los mismos mecanismos básicos que propagaron el miedo al gusano del tomate ahora han intensificado —y, en algunos casos, generado— una profunda desconfianza pública hacia las instituciones sociales básicas. Una consecuencia de ello es el alza en los brotes de sarampión registrada en varios países.

«Información engañosa» puede parecer un eufemismo. Después de todo, muchas de las creencias falsas más peligrosas de hoy en día comienzan con propaganda y mentiras deliberadas que buscan expresamente hacer daño. Pero la eficacia de la propaganda y la desinformación en la era de las redes sociales responde, en parte, al hecho de que la gente las comparte profusamente entre amigos y compañeros que confían en ellos, sin la intención de mentir o estafar a nadie. Así pues, las redes sociales transforman la desinformación en información engañosa.

Muchos sociólogos y teóricos de la comunicación han intentado comprender cómo persisten las falsas creencias modelizando la difusión de las ideas como un contagio. Emplear modelos matemáticos implica simular una representación simplificada de las interacciones sociales mediante un algoritmo informático, para después analizar las simulaciones y aprender algo sobre el mundo real. En un modelo de contagio, las ideas actúan como virus que se transmiten de una mente a otra. Uno comienza con una red compuesta por nodos (que representan individuos) y enlaces (que representan conexiones sociales). Se siembra una idea en una «mente» y se observa cómo y cuándo se propaga bajo distintas premisas.

Pese a su gran sencillez, los modelos de contagio han servido para explicar pautas de comportamiento sorprendentes, como la epidemia de suicidios que supuestamente experimentó Europa tras publicarse *Las penas del joven Werther,* de Goethe, en 1774 o las náuseas y el entumecimiento que notificaron en 1962 decenas de trabajadores de la industria textil de EE.UU. tras sufrir la picadura de un insecto imaginario.

Los modelos también pueden explicar cómo se propagan en Internet algunas creencias falsas. Antes de las últimas elecciones presidenciales de EE.UU., apareció en Facebook una imagen de un joven Donald Trump. Iba acompañada de una cita, atribuida a una entrevista concedida en 1998 a la revista *People*, en la que Trump afirmaba que, si alguna vez se presentaba a la presidencia, sería por los republicanos, ya que sus votantes eran «los más estúpidos del país». Aunque no está claro quién fue el primero en compartirlo, el meme pasó rápidamente de perfil a perfil.

La veracidad del meme se analizó y desmintió enseguida. Snopes, un sitio web de verificación de datos, aseguró que la cita había sido inventada en octubre de 2015. Sin embargo, igual que con el gusano del tomate, los esfuerzos por difundir la verdad no alteraron la propagación de los rumores: una de las copias del meme se compartió más de medio millón de veces. Y conforme nuevos individuos lo iban compartiendo durante los años siguientes, sus falsas creencias infectaban a sus amigos, que, a su vez, las transmitían a otras partes de la red.

Eso hace que muchos memes populares parezcan inmunes a la verificación de datos y los desmentidos. Cada persona que compartió el meme de Trump se limitó a confiar en el amigo que lo había compartido antes, en lugar de comprobar su veracidad. Y es que exponer los hechos no sirve de nada si nadie se molesta en buscarlos. Podría parecer que el problema es la pereza o la credulidad y que, por lo tanto, podría resolverse con más educación o fomentando el pensamiento crítico. Pero eso no es del todo cierto. A veces, las creencias falsas persisten y se extienden incluso en comunidades donde todos se esfuerzan por conocer la verdad, recopilando y compartiendo pruebas. En esos casos, el problema no es la confianza irreflexiva, sino algo mucho más profundo.





Cailin O'Connor y **James Owen Weatherall** son profesores de lógica y filosofía de la ciencia en la Universidad de California en Irvine y miembros del Instituto de Ciencias Conductuales Matemáticas. Son coautores de *The misinformation age: How false beliefs spread* (Yale University Press, 2019).

CONFIAR EN LAS PRUEBAS

El grupo de Facebook Stop Mandatory Vaccination («No a la vacunación obligatoria») cuenta con más de 140.000 seguidores. Sus moderadores publican regularmente material concebido para justificar que las vacunas son perjudiciales o ineficaces, como noticias, artículos científicos y entrevistas con destacados antivacunas. En otros grupos de Facebook, miles de padres preocupados preguntan y responden dudas sobre la seguridad de las vacunas, y a menudo comparten artículos científicos y consejos legales que respaldan las campañas antivacunas. A los miembros de esas comunidades en línea les preocupa mucho si las vacunas son nocivas y tratan de averiguarlo activamente. Y aun así llegan a conclusiones peligrosamente equivocadas. ¿Cómo es posible?

El modelo de contagio no puede responder esa pregunta. Necesitamos otro que incluya los casos donde los individuos desarrollan creencias a partir de las pruebas que reúnen y comparten. También debe reflejar qué motiva a esas personas a buscar la verdad. En cuestiones de salud, actuar guiados por creencias falsas puede acarrear graves consecuencias. Si las vacunas son seguras y efectivas —como de hecho son— y los padres no va-

EN SÍNTESIS

Las redes sociales han facilitado la proliferación de creencias falsas a una escala sin precedentes.

A partir de la modelización de la manera en que se difunde la información engañosa a través de las redes de personas, resulta posible descubrir cómo influyen la confianza social y el conformismo en la forma en que las comunidades alcanzan un consenso.

Añadir propagandistas a los modelos demuestra lo fácil que es manipular las creencias, incluso cuando existen abundantes pruebas científicas sobre una cuestión determinada.

UNAS MANIFESTANTES se apoyan en la idea de «elección» para difundir información engañosa sobre la seguridad de las vacunas.



cunan a sus hijos, los exponen a ellos y a las personas inmunodeprimidas a un riesgo innecesario. Si las vacunas no fuesen seguras, como han concluido los miembros de esos grupos de Facebook, entonces el riesgo sería el contrario. Eso implica que es clave descubrir la verdad y actuar en consecuencia.

A fin de entender mejor ese comportamiento, en nuestras investigaciones recurrimos a la denominada epistemología de redes, ideada por economistas hace veinte años para investigar la difusión social de las creencias en una comunidad. Los modelos basados en ella constan de dos elementos: un problema y una red de individuos, o «agentes». El problema consiste en elegir entre dos opciones, como vacunar o no vacunar a los hijos. Los agentes tienen creencias sobre cuál de las dos opciones es mejor: unos piensan que las vacunas son seguras y eficaces, y otros que causan autismo. Las creencias de los agentes condicionan su comportamiento, de modo que quienes consideran que las vacunas son seguras deciden vacunar. A su vez, su comportamiento condiciona sus creencias: cuando los agentes vacunan y comprueban que no sucede nada malo, aumenta su confianza en la seguridad de las vacunas.

La necesidad de amoldarnos está profundamente arraigada en la psique humana y puede llevarnos a emprender acciones que sabemos que son perjudiciales

El segundo elemento del modelo es una red que representa las conexiones sociales. Los agentes no solo aprenden de sus propias experiencias con las vacunas, sino también de las de sus vecinos. Así pues, la comunidad a la que pertenece un individuo es fundamental a la hora de determinar qué creencias acaba adoptando.

La epistemología de redes incluye algunas características esenciales ausentes en los modelos de contagio: los individuos reúnen datos, los comparten y sufren las consecuencias de sus creencias erróneas. Los resultados nos enseñan importantes lecciones sobre la difusión social del conocimiento. La primera, que trabajar en equipo es mejor que hacerlo en solitario, ya que alguien que se enfrenta a un problema de esta índole tiene mayores probabilidades de aceptar prematuramente la peor teoría. Por ejemplo, esa persona podría observar que a un niño se le diagnostica autismo después de vacunarse, y concluir que las vacunas no son seguras. En una comunidad suele existir una cierta diversidad de creencias, con lo que algunos individuos prueban una de las acciones y otros, la contraria. Esa diversidad hace que generalmente se recojan suficientes pruebas como para desarrollar creencias acertadas.

Sin embargo, ese beneficio grupal no garantiza que los agentes averigüen la verdad. Las pruebas científicas reales son probabilísticas: por ejemplo, hay gente que no fuma y desarrolla cáncer de pulmón y fumadores que no lo contraen, lo cual significa que algunos estudios no hallarán conexión entre el tabaco y el cáncer. Del mismo modo, aunque no existe un vínculo estadístico real entre las vacunas y el autismo, algunos niños vacunados serán autistas. Por lo tanto, algunos padres observarán que su hijo desarrolla síntomas de autismo después de haberle puesto la vacuna. Una serie de pruebas engañosas de este tipo puede bastar para confundir a toda una comunidad.

En la versión más básica de este modelo, la influencia social hace que las comunidades acaben alcanzando un consenso: deciden que vacunar es seguro o que es peligroso. Pero eso no se ajusta a lo que vemos en el mundo real. En las comunidades reales se produce una polarización, un desacuerdo muy arraigado sobre si se debe vacunar o no. Pensamos que el modelo básico carece de dos ingredientes esenciales: la confianza social y el conformismo.

La confianza social influye en las creencias cuando la gente considera que unas fuentes de pruebas son más fiables que otras. Lo vemos en los antivacunas, que confían más en las pruebas compartidas por otros miembros de su comunidad que en las obtenidas por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades u otros grupos de investigación médica. Tal desconfianza puede responder a distintas causas, como haber tenido experiencias negativas con los médicos o pensar que las instituciones sanitarias o gubernamentales no se preocupan realmente por ellos. Y en algunos casos el recelo puede estar justificado, dado que hay muchos precedentes de investigadores médicos y doctores que han ignorado problemas legítimos de los pacientes, en especial de las mujeres.

RICH PEDRONCELLI, AP PHOTO

Así describe la ciencia de redes la difusión de la información falsa

La ciencia de redes sirve para entender mejor cómo influyen las conexiones sociales en las creencias y el comportamiento de los individuos de una red social, y especialmente cómo se difunden las creencias falsas de persona a persona. A continuación analizamos dos tipos de modelos de redes que reflejan diferentes formas de propagación de ideas y creencias. Cada nodo representa un individuo y cada enlace, o conexión entre nodos, un vínculo social.

MODELO DE CONTAGIO

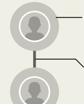
Los modelos de contagio tratan las ideas y creencias como virus que se propagan entre los individuos de una red social. En algunos modelos, cualquiera se «infectará» si tiene un vecino infectado. En otros, las ideas se difunden cuando se infecta un determinado porcentaje de vecinos. Ilustraremos estos «contagios complejos» mediante ejemplos donde los individuos adoptan una nueva creencia si la sostiene al menos el 25 por ciento de sus vecinos. En estos modelos, la estructura de la red influye en la forma en que se difunden las ideas.

Cómo leer los diagramas de contagio

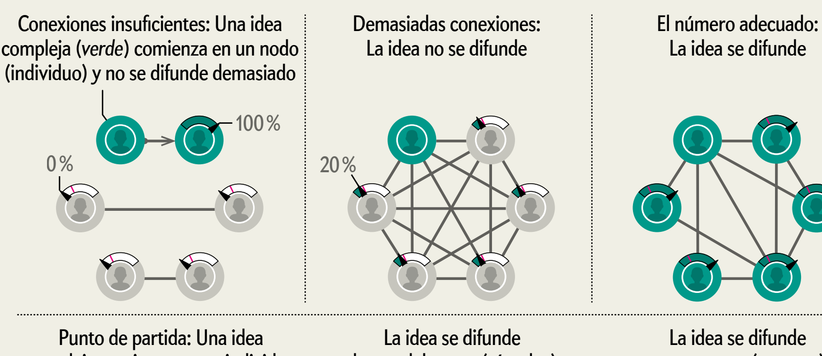
Cada nodo circular es una persona influenciada por las ideas que presentan otros.

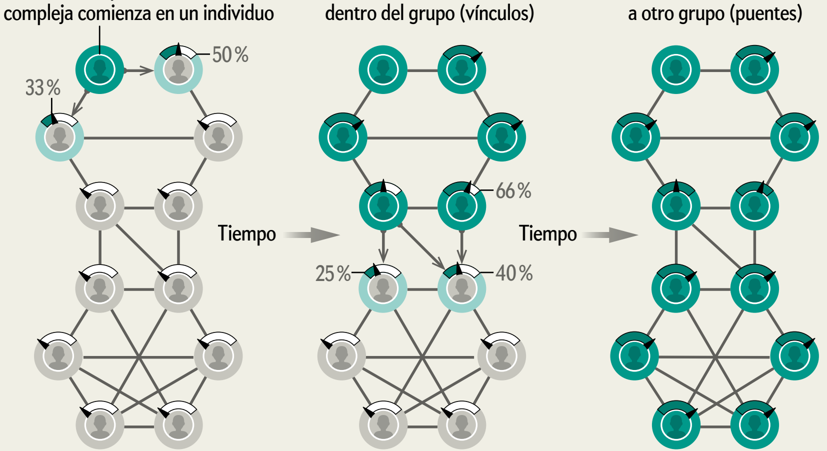
Cada línea representa una conexión entre individuos.

El indicador en la parte superior de los nodos muestra qué porcentaje de los contactos de esa persona tienen una determinada creencia. Supondremos que el umbral para que un individuo adopte las creencias de sus vecinos es del 25 % (al menos 1 de cada 4).



VÍNCULOS Y PUENTES: En los grupos poco conectados, las ideas no llegan a todos los miembros. Pero un número excesivo de conexiones también puede detener la difusión de una idea. Algunas redes presentan bandos (*cliques*) estrechamente conectados entre los que puede ser difícil que se propaguen las ideas.





FUENTES: THE WISDOM AND/OR MADNESS OF CROWDS, POR NICKY CASE HTTPS://NCASE.ME/CROWDS; THE MISINFORMATION AGE: HOW FALSE BELIEFS SPREAD, POR CAILIN O'CONNOR Y JAMES OWEN WEATHERALL. YALE UNIVERSITY PRESS, 2019; JEN CHRISTIANSEN (*gráficos*)

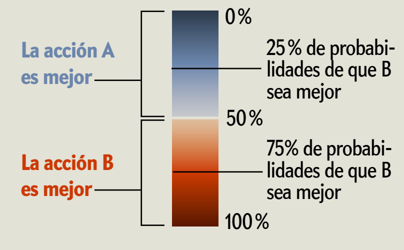
EPISTEMOLOGÍA DE REDES

Los modelos basados en la epistemología de redes reflejan situaciones donde las personas desarrollan creencias recopilando y compartiendo pruebas. Estos modelos tienen muchas aplicaciones científicas. Las creencias no se difunden sin más de un individuo a otro. Cada individuo posee un determinado grado de certeza respecto a una idea e intenta reunir pruebas que la apoyen; esas pruebas modifican sus creencias y las de sus vecinos de la red.

Cómo leer los diagramas basados en la epistemología de redes

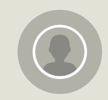
Cada nodo circular o cuadrado es un individuo influenciado por las pruebas que presentan otros. Cada individuo tiene una opinión sobre si es mejor la **acción A** (*azul*) o la **acción B** (*naranja*). Esta creencia puede fortalecerse, debilitarse o invertirse con el tiempo, como indican los cambios de color.

La intensidad del color denota el grado de certeza: un valor del 75 % indica que el individuo piensa que hay un 75 % de probabilidades de que la **acción B** sea mejor que la **acción A**. Si el valor supera el 50 %, esa persona realiza la **acción B**. Entonces usamos el teorema de Bayes (la manera racional de cambiar de ideas a partir de pruebas, según la teoría de la probabilidad) para actualizar las creencias del individuo a la luz de sus resultados, y luego actualizamos todas las conexiones de su red.





Los nodos cuadrados son individuos que realizan las acciones y actualizan sus creencias en consecuencia (buscadores de pruebas)

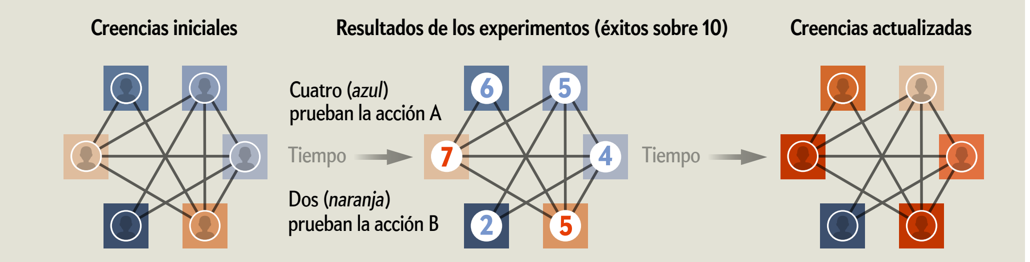


Los nodos circulares representan individuos que observan los resultados de otros, pero no prueban directamente las acciones (observadores)

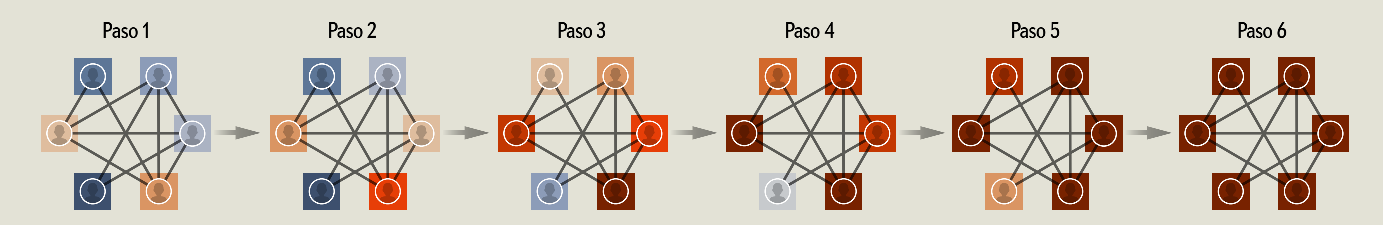


Las estrellas representan individuos sin creencias propias que se centran en introducir resultados de manera selectiva en el sistema (propagandistas)

ACTUALIZAR Y EXPERIMENTAR: En estos modelos, los individuos comienzan con un grado aleatorio de certeza (una creencia) sobre si es mejor la acción A o la B y llevan a cabo la que prefieren («experimentan»). Sus conclusiones aportan pruebas sobre el éxito de esas acciones, que comparten con sus vecinos. Todos los individuos actualizan sus creencias en función de lo que observan.



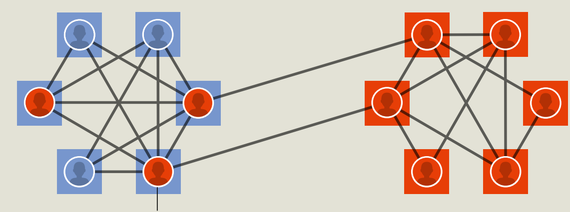
CONVERGER A LAS CREENCIAS ACERTADAS: Las conexiones sociales hacen que los grupos acaben alcanzando un consenso sobre si es mejor A o B. A medida que reúnen y comparten pruebas, suelen descubrir que la mejor acción es, efectivamente, mejor. Por ejemplo, alguien que pruebe la peor acción constatará que a su vecino le ha ido mejor y cambiará de idea. Pero a veces una cadena de pruebas engañosas convence al grupo entero de que la peor acción es mejor.



POLARIZACIÓN: Si añadimos a estos modelos la confianza social o el conformismo, el consenso podría no alcanzarse. Si cada individuo confía en las pruebas obtenidas por quienes comparten sus creencias, se forman bandos polarizados que solo escuchan a los de su propio grupo. Si cada individuo trata de adecuar sus acciones a las de su grupo, las buenas ideas no se difunden entre distintos bandos.

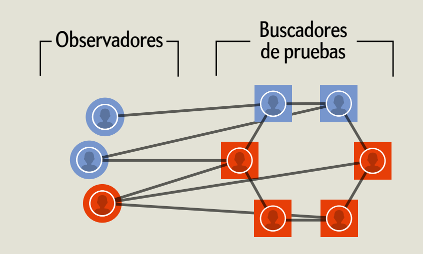
Creencias opuestas estables en un grupo

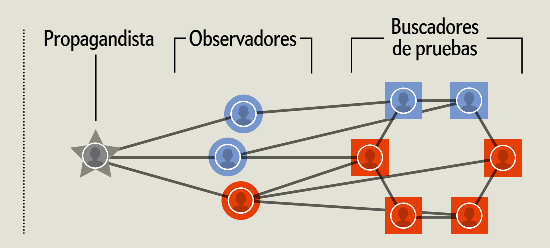
Menor nivel de confianza (*líneas finas*)



Cree que la acción B (*naranja*) es mejor, pero se amolda a las acciones del bando azul

BUSCADORES DE PRUEBAS, OBSERVADORES Y PROPAGANDISTAS: A veces, los propagandistas tratan de confundir a un grupo de individuos respecto a resultados científicos. Estos modelos pueden representar a un conjunto de buscadores que reúnen pruebas, un grupo de observadores que las usan para actualizar sus creencias y un propagandista que engaña a los observadores.





ACTUALIZAR LAS CREENCIAS EN PRESENCIA DE RESULTADOS SELECTIVOS: Los propagandistas manipulan las creencias públicas compartiendo de manera selectiva solo los resultados que apoyan la peor acción. Eso puede confundir a la gente, incluso cuando los buscadores de pruebas llegan a un consenso sobre la creencia correcta. Esta estrategia de desinformación aprovecha la aleatoriedad inherente a los resultados científicos para engañar.



Pero el resultado es que los antivacunas no aprenden de las personas que disponen de las mejores pruebas sobre el tema. En las versiones del modelo donde los individuos desconfían de las pruebas obtenidas por la gente que tiene convicciones muy distintas, las comunidades se polarizan y aquellos con creencias erróneas no logran adquirir otras mejores.

Por otro lado, el conformismo es la tendencia a actuar igual que el resto de la comunidad. La necesidad de amoldarnos está profundamente arraigada en la psique humana, y puede llevarnos a emprender acciones que sabemos que son perjudiciales. Al añadir el conformismo al modelo, vemos que surgen grupos cerrados o bandos (*cliques*) de agentes con creencias falsas: los agentes conectados al mundo exterior no difunden aquella información que contradice las creencias de su grupo, por lo que muchos de sus miembros nunca averiguan la verdad.

El conformismo puede ayudar a explicar por qué quienes desconfían de las vacunas tienden a agruparse en ciertas comunidades. Algunos colegios privados y concertados del sur de California presentan tasas de vacunación sorprendentemente bajas, y lo mismo ocurre entre los inmigrantes somalíes de Minneapolis y los judíos ortodoxos de Brooklyn, dos comunidades que recientemente han sufrido brotes de sarampión.

Cualquier actuación contra el escepticismo hacia las vacunas debe tener en cuenta la confianza social y el conformismo. Limitarse a compartir nuevas pruebas con los antivacunas probablemente no sirva de nada, debido a los problemas de confianza. Y convencer a miembros respetados de una comunidad para que defiendan las vacunas podría ser difícil a causa del conformismo. La mejor estrategia consiste en encontrar a personas que tengan suficientes cosas en común con los miembros de esas comunidades como para generar confianza. Un rabino, por ejemplo, podría ser un buen embajador de las vacunas en Brooklyn, mientras que en el sur de California quizá se necesite la ayuda de la actriz Gwyneth Paltrow.

La confianza social y el conformismo explican por qué pueden surgir creencias polarizadas en las redes sociales. Pero en algunos casos, como en la comunidad somalí de Minnesota y en la de judíos ortodoxos de Nueva York, esos factores solo son una parte de la historia. Ambos grupos constituyeron el blanco de elaboradas campañas de información engañosa diseñadas por los antivacunas.

OPERACIONES DE INFLUENCIA

Nuestras creencias sobre el mundo determinan cómo votamos, qué compramos y a quién aclamamos. Por ello, hay muchos grupos e individuos ricos y poderosos que están interesados en modelar las creencias públicas, incluidas las relacionadas con hechos científicos. Es ingenuo pensar que la industria trata de influir en las creencias científicas sobornando a científicos corruptos. Puede que eso suceda en alguna ocasión, pero las empresas, los Estados y otros grupos emplean estrategias mucho más sutiles, y posiblemente más efectivas. El primer paso para protegernos de ese tipo de manipulaciones es comprender cómo funcionan.

Un ejemplo clásico proviene del sector del tabaco, que en la década de 1950 desarrolló nuevas técnicas para combatir el cre-

LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN ESTADÍSTICA



En estadística no vemos todo el universo, sino solo una porción del mismo.

Una pequeña porción, por lo general, que podría contarnos una historia completamente distinta a la de otra pequeña porción. Tratamos de pasar de esos fragmentos a una verdad más general. Muchos consideran que esa unidad básica de verdad es el valor *p*, una medida estadística de cómo de sorprendente es lo que observamos en nuestra pequeña porción, suponiendo que nuestras premisas sobre el universo son válidas. Pero no creo que eso sea correcto.

En realidad, la noción de significación estadística se basa en un umbral arbitrario para el valor *p*, y puede que guarde poca relación con la significación sustantiva o científica. Resulta demasiado fácil caer en un esquema mental que le asigne un significado a ese umbral arbitrario: nos da una falsa sensación de certidumbre. Y también resulta demasiado fácil ocultar una multitud de pecados científicos tras el valor *p*.

Un modo de reforzar el valor *p* sería mediante un cambio cultural hacia la transparencia. Si, además de comunicar el valor *p*, mostramos también cómo hemos llegado hasta él (el error estándar, la desviación estándar u otras medidas de la incertidumbre, por ejemplo) podremos reflejar mejor lo que significa esa cifra. Cuanta más información publiquemos, más difícil será esconderse detrás del valor *p*. Ignoro si lo lograremos, pero creo que deberíamos intentarlo.

Nicole Lazar, *profesora de estadística en la Universidad de Georgia, en declaraciones a Brooke Borel*

BUD COOK

ciente consenso de que fumar mata. Durante los años cincuenta y sesenta, el Instituto del Tabaco estadounidense publicó el boletín bimensual *Tobacco and Health* («Tabaco y salud»), donde informaba únicamente sobre las investigaciones que sugerían que el tabaco no era perjudicial o subrayaban la incertidumbre respecto a sus efectos nocivos.

Los panfletos emplean lo que hemos denominado «divulgación selectiva»: toman estudios científicos reales e independientes y los criban para presentar únicamente las pruebas que apoyan una determinada postura. Usando variantes de los modelos descritos anteriormente, hemos hallado que la divulgación selectiva puede ser sorprendentemente eficaz a la hora de determinar las creencias de los legos sobre hechos científicos. En otras palabras, agentes con intereses propios pueden emplear semillas de verdad para generar una sensación de incertidumbre o incluso convencer a la gente de afirmaciones falsas.

La divulgación selectiva ha sido clave en la estrategia de los antivacunas. Antes del reciente brote de sarampión en Nueva York, una organización autodenominada Padres que Educan y Abogan por la Salud de los Niños (PEACH, por sus siglas en inglés) elaboró y distribuyó un folleto de 40 páginas titulado *The vaccine safety handbook* («Manual sobre la seguridad de las vacunas»). La información contenida en él —cuando era correcta— era muy selectiva y se centraba en un puñado de estudios científicos que indicaban la existencia de riesgos asociados a las vacunas, sin mencionar casi ninguna de las numerosas investigaciones que demuestran que son seguras.

El manual de PEACH resultó muy eficaz porque combinó la divulgación selectiva con estrategias retóricas. Generó confianza entre los judíos ortodoxos proyectando una imagen de pertenencia a su comunidad (aunque se publicó bajo seudónimo, algunos autores eran miembros de ella) y enfatizando preocupaciones que probablemente encontrarían eco entre ellos. Seleccionó cuidadosamente determinados hechos sobre las vacunas con la intención de provocar rechazo en su audiencia. Por ejemplo, subrayaba que algunas vacunas contienen gelatina derivada del cerdo. Deliberadamente o no, el folleto se diseñó de un modo que explotaba la confianza social y el conformismo, los mecanismos clave en la generación del conocimiento humano.

Peor aún, los propagandistas desarrollan métodos cada vez más elaborados para manipular a la opinión pública. En los últimos años hemos visto cómo los proveedores de desinformación introducían nuevas maneras de crear la impresión —especialmente a través de las redes sociales, usando bots de Twitter o troles remunerados y, más recientemente, pirateando o copiando las cuentas de nuestros contactos— de que ciertas ideas falsas gozan de gran aceptación, incluso entre nuestros amigos y otra gente con la que nos identificamos. Hasta los creadores de PEACH podrían haberse encontrado con este tipo de discurso artificial: según un artículo publicado en 2018 en *American Journal of Public Health*, la desinformación sobre las vacunas fue distribuida por cuentas vinculadas a operaciones de influencia rusas, cuyo objetivo era aumentar la discordia en Estados Unidos y convertir un problema de salud pública en un arma. Esta estrategia trata de cambiar las ideas de la gente, no con argumentos racionales o pruebas, sino manipulando la difusión social del conocimiento y las creencias.

Los elaborados esfuerzos por difundir información engañosa —y las focalizadas campañas de desinformación que los amplifican— suponen un problema preocupante para la democracia. Volviendo al ejemplo del sarampión, aunque la vacunación en EE.UU. es obligatoria, muchos estados permiten exenciones por «creencias personales». En 2015, esto se convirtió en un asunto candente en California tras un brote de sarampión causado por unos niños no vacunados que visitaron Disneylandia. El por entonces gobernador Jerry Brown firmó una nueva ley que eliminaba la exención.

Inmediatamente, los antivacunas se movieron para incluir un referéndum en la papeleta de las siguientes elecciones estatales y tratar de revocar la ley. Si hubieran logrado recoger 365.880 firmas (solo juntaron 233.758), la cuestión de si los padres deberían poder rechazar la vacunación obligatoria por razones personales se habría decidido mediante una votación directa... cuyos resultados habrían sido sensibles al mismo tipo de campañas de desinformación que han hecho que se desplomen las tasas de vacunación en muchas comunidades.

Afortunadamente, fracasaron. Pero el hecho de que cientos de miles de californianos apoyaran una votación directa sobre una cuestión de salud pública y donde los hechos son claros, pese a que ciertos grupos de activistas los malinterpreten, debería invitar a la reflexión. Hay buenas razones para implementar medidas que reflejen adecuadamente las pruebas existentes y sean receptivas a nuevos datos fiables. ¿Cómo podemos proteger el bienestar público cuando se engaña a tantos ciudadanos respecto a hechos ciertos? Del mismo modo que no es probable que una persona que actúa de acuerdo a ideas equivocadas alcance los resultados que desea, tampoco cabe esperar que las sociedades que adoptan políticas basadas en creencias falsas obtengan los frutos que buscan y esperan.

La forma de decidir una cuestión de naturaleza científica (¿son las vacunas seguras y eficaces?) no es pedirle a una comunidad de no expertos que vote sobre ella, especialmente cuando están expuestos a campañas de información engañosa. Lo que necesitamos es un sistema que, además de respetar el rol de los procesos e instituciones científicas como nuestra mejor manera de descubrir la verdad sobre el mundo, también respete los valores democráticos fundamentales que impedirían que un único grupo, como los científicos, dicte las políticas.

No tenemos una propuesta sobre un sistema de gobierno que pueda conciliar perfectamente esos intereses contrapuestos. Pero pensamos que la clave radica en separar mejor dos aspectos muy diferentes: ¿cuáles son los hechos?, ¿qué debemos hacer a la luz de ellos? De acuerdo con los ideales democráticos, ambas cuestiones requieren supervisión pública, transparencia y rendición de cuentas. Pero solo la segunda —cómo tomar decisiones a partir de los hechos— debería someterse a votación. IyC

PARA SABER MÁS

The wisdom and/or madness of crowds. Nicky Case. Juego interactivo sobre modelos de contagio: **https://ncase.me/crowds**

Weaponized health communication: Twitter bots and Russian trolls amplify the vaccine debate. David A. Broniatowski et al. en *American Journal of Public health*, vol. 108, n.º 10, págs. 1378-1384, octubre de 2018.

EN NUESTRO ARCHIVO

La era de la (des)información. Walter Quattrociocchi en *IyC*, octubre de 2016.

Clics, mentiras y cintas de vídeo. Brooke Borel en *IyC*, diciembre de 2018.

El autoengaño de los antivacunas. Sara Pluviano y Sergio Della Sala en *MyC* n.º 95, 2019.



ECONOMÍA

CORRUPCIÓN CONTAGIOSA

LA TRAMPA ENGENDRA NUEVAS TRAMPAS, PROPAGÁNDOSE CON RAPIDEZ EL COMPORTAMIENTO INMORAL POR TODA LA SOCIEDAD

Dan Ariely y Ximena García-Rada

Supongamos que acudimos a nuestro ayuntamiento para solicitar un permiso de obra para renovar la casa. La empleada que recoge el formulario nos informa de que, debido al exceso de solicitudes, tardarán hasta nueve meses en gestionar el permiso, pero que si le ofrecemos 100 euros colocará nuestra solicitud entre las primeras. Nos está pidiendo que hagamos un soborno: un pago ilegal para obtener un trato preferente. Probablemente nos surjan varias preguntas: ¿deberíamos pagar para acelerar el trámite? ¿Alguno de nuestros amigos o familiares lo haría? Pero a buen seguro no nos plantearemos si el hecho de haber recibido esta petición influirá en nuestras futuras decisiones éticas. Tal es la cuestión que los estudiosos del comportamiento investigan para saber el modo en que se propaga la corrupción.

Es difícil calcular lo extendida que está la costumbre de sobornar, pero estimaciones del Banco Mundial apuntan a que las bolsas de corrupción ascienden a casi un billón de euros anuales. Según un estudio de 2018 de la organización Transparencia Internacional, más de las dos terceras partes de los 180 países analizados puntuó menos de 50 en una escala de 0 («muy corrupto») a 100 («muy honesto»). Los grandes escándalos suelen ocupar los titulares de todo el mundo, como el de la empresa de construcción brasileña Odebrecht, que en 2016 admitió haber pagado casi 700 millones de euros en sobornos a políticos y burócratas de 12 países. Pero la corrupción menor, el intercambio de pequeños favores entre algunas personas, también es muy común. El barómetro de corrupción mundial de Transparencia Internacional de 2017 muestra que uno de cada cuatro de los entrevistados declaró haber pagado un soborno para acceder a algún servicio público en el año previo, y que uno de cada tres de esos pagos se realizó en Oriente Medio o África del Norte.

La corrupción, grande o pequeña, impide el desarrollo socioeconómico de los países. Afecta a la actividad económica, debilita las instituciones, obstaculiza la democracia y erosiona la confianza de los ciudadanos en los funcionarios, en los políticos y en sus vecinos. Entender la psicología que subyace al soborno podría resultar crucial para abordar el problema. Lo inquietante es que, según nuestros estudios, la sola exposición a la corrupción corrompe. A menos que se tomen medidas preventivas, la falta de honestidad

LISK FENG



Dan Ariely es profesor James B. Duke de psicología y economía conductual en la Universidad Duke y fundador del Centro de Retrospectiva Avanzada. Es correalizador de un documental sobre corrupción y escritor de superventas.



Ximena García-Rada es doctoranda de mercadotecnia en la Escuela de Negocios de Harvard. Su investigación versa sobre la influencia de los factores sociales en la toma de decisiones de los consumidores.

puede transmitirse de una persona a otra como una epidemia, de manera imperceptible y sin desearlo, erosionando las normas y la ética sociales; y la cultura de la trampa y la mentira, una vez arraiga, resulta difícil de extirpar.

CONTAGIO

Supongamos que rechazamos la petición de soborno de la empleada del ayuntamiento. ¿Nos va a influir esa experiencia en un futuro dilema ético? En los estudios de laboratorio que realizamos con los investigadores del comportamiento Vladimir Chituc, Aaron Nichols, Heather Mann, Troy Campbell y Panagiotis Mitkidis, que se hallan en fase de revisión en una revista académica, hemos intentado responder a esta pregunta.

En el laboratorio de la universidad reunimos a un grupo de voluntarios y les propusimos el juego de lanzar un dado virtual y recibir una recompensa. A todos se les dijo que el premio dependía del resultado de varias tiradas. Sin embargo, en la práctica podían mentir acerca de ese resultado para ganar más dinero. Por tanto, todos los participantes se encontraron con el conflicto de jugar siguiendo las reglas o de engañar para obtener más beneficios. Utilizamos ese ardid para evaluar cómo sopesan los individuos las recompensas externas e internas (o psicológicas) cuando toman decisiones éticas. La investigación que Nina Mazar, On Amir y uno de nosotros (Ariely) publicamos en 2008 indica que la mayoría se salta la ética solo hasta un punto en el que el beneficio les permite mantener una imagen moral de sí mismos, una observación que describimos como la teoría del mantenimiento del autoconcepto.

Nuestro juego consistía en lanzar 30 veces un dado virtual en una tableta. Muchos economistas conductuales han recurrido a ejercicios similares empleando monedas y dados físicos para evaluar la deshonestidad en los llamados juegos descontextualizados; es decir, aquellos que no involucran normas sociales y culturales. Se explicó a los participantes que antes de cada tirada debían pensar en una cara del dado, la de arriba o la de abajo, e informar de la opción elegida después de ver el resultado de la tirada. Ganarían una cantidad fija de dinero por cada punto que saliera en la cara del dado que declararan haber elegido cada vez. Por tanto, todos tenían el incentivo económico de engañar diciendo que habían elegido la cara con la puntuación más alta. Por ejemplo, si el resultado de la tirada era de dos en la cara de arriba del dado y cinco en la de abajo, podrían tener la tentación de decir que habían elegido «abajo» antes de tirar, incluso si no era cierto.

Este experimento no nos permite saber si alguien miente en una tirada concreta. Pero, sumando los resultados de todas las tiradas y todos los participantes de un grupo, puede compararse el porcentaje de tiradas favorables con su correspondiente probabilidad (50 por ciento), y así evaluar la magnitud de la deshonestidad.

Después de explicar a los participantes las reglas del juego en el que podían ganar dinero real, se los asignó al azar a una de las dos variantes del juego: la más lucrativa y la menos lucrativa. Los del juego más lucrativo harían exactamente lo mismo que los del menos lucrativo, pero ganarían diez veces más dinero por cada punto. A todos se les comunicó la existencia del otro juego. Después, a la mitad de los participantes del juego menos lucrativo se les ofreció la posibilidad de cambiarse al más lucrativo previo pago de un soborno.

El ayudante investigador que dirigía la sesión mencionó que el jefe estaba ausente y que el participante podía con facilidad cambiarse al juego más lucrativo sin que nadie lo descubriera; también les recalcó que el cambio era ilegal, con el fin de generarles un dilema moral similar al que podría surgir en la vida real. Así, terminamos con tres grupos: el del juego menos lucrativo sin oferta de soborno, el del más lucrativo sin oferta de soborno y el de los tentados con soborno; este último grupo podía dividirse en dos: quienes pagaron el soborno y quienes lo rechazaron. Esta disposición nos permitió evaluar el nivel ético de los participantes tentados con el soborno después de haber recibido la oferta.

En nuestro laboratorio administramos tres versiones del juego a un total de 349 individuos. En los dos primeros estudios se les ofreció a algunos la posibilidad de pagar un soborno de 2 euros para cambiarse a la versión del juego más lucrativo, y el 85 por ciento lo pagó. La observación crucial fue que, en los juegos posteriores, los participantes que habían recibido la oferta de soborno engañaban más que los que no la recibieron. En el segundo estudio, por ejemplo, los participantes tentados con el soborno engañaron un 9 por ciento más que los que jugaron la versión más lucrativa, y el 14 por ciento más que los que jugaron la versión menos lucrativa pero que no habían recibido oferta de soborno.

En un tercer estudio evaluamos si la gente actuaba de manera más inmoral cuando pagaba un soborno o cuando tan solo recibía la oferta. Encarecimos el soborno a 12 euros, y el 82 por ciento rechazó el ofrecimiento, lo que aumentaba el tamaño de la muestra de quienes lo rechazaron. Lo inquietante es que cuando limitamos nuestro análisis a este grupo de individuos, en apariencia éticos, descubrimos que los expuestos al soborno engañaron más que los que no recibieron ofertas ilegales. En conjunto, los resultados de estos tres experimentos indican que recibir la oferta de un soborno erosiona el carácter moral de los individuos incitándoles a comportarse de manera más deshonesta a la hora de tomar decisiones éticas posteriores.

EROSIÓN DE LAS NORMAS

Nuestro trabajo hace pensar que el soborno es como una enfermedad contagiosa: se propaga con rapidez entre los individuos, a menudo con tan solo estar expuesto a él; y cuanto más tiempo pasa, más difícil es controlarla. Ello se debe a que las normas sociales (los patrones de conducta aceptados como normales) afectan al comportamiento de las personas en numerosas situaciones, entre ellas las que entrañan dilemas éticos. En 1991, los psicólogos Robert B. Cialdini, Carl A. Kallgren y Raymond R. Reno establecieron la importante diferencia entre las normas descriptivas (la percepción de lo que hace la mayoría de la gente) y las inductivas (la percepción de lo que aprueba

EN SÍNTESIS

La corrupción daña las economías, las instituciones y las estructuras democráticas.

La exposición al soborno puede en sí misma corromper, lo que hace pensar en un mecanismo que favorece la propagación del comportamiento no ético por toda la sociedad.

Las normas sociales influyen en la conducta ética. De modo sorprendente, la tendencia individual innata a hacer trampa (o a no hacerla) es la misma en todos los países, con independencia de las enormes diferencias de corrupción que se registran entre ellos.

Hacen falta nuevas investigaciones sobre qué provoca el soborno y la corrupción, cómo se propagan y cómo pueden controlarse.

o desaprueba la mayoría). Nosotros sostenemos que ambos tipos de normas influyen en el soborno. En pocas palabras, saber que otros pagan para obtener un favor (una norma descriptiva) hace que uno considere menos grave esa conducta cuando la practica él. Del mismo modo, pensar que otros creen que pagar un soborno es aceptable (norma prescriptiva) hará que uno se sienta más cómodo cuando acepta una petición de soborno. El soborno se convierte en norma, lo que afecta a la moralidad de las personas.

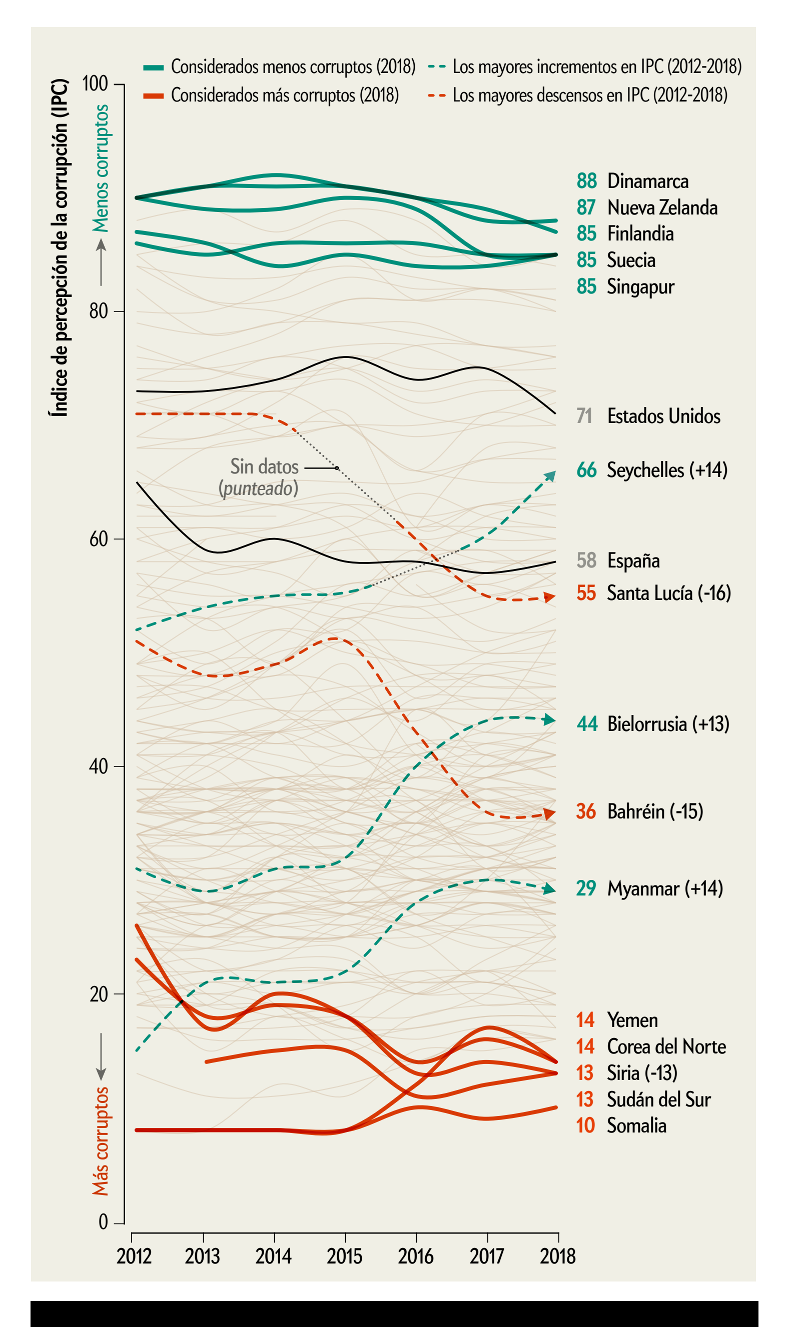
En 2009, Ariely, junto con los investigadores del comportamiento Francesca Gino y Shahar Ayal, publicaron un estudio que mostraba lo poderosas que pueden ser las normas sociales para conformar la conducta deshonesta. En dos estudios de laboratorio evaluaron las circunstancias en las que presenciar el comportamiento inmoral de otros puede modificar el aspecto ético de las decisiones propias. La pertenencia a un grupo resultó tener una influencia notable: cuando los individuos observaban a un miembro de su grupo comportarse de forma deshonesta (un estudiante copiando en un examen que llevaba una camiseta que sugería que asistía al mismo centro educativo), ellos actuaban también de manera deshonesta. Por el contrario, cuando la conducta deshonesta no procedía de un miembro de su grupo (un estudiante con una camiseta de la escuela rival), los sujetos actuaban con más honestidad.

Pero las normas sociales también varían de una cultura a otra: lo aceptable en una cultura puede no serlo en otra. Por ejemplo, en algunas sociedades hacer regalos a clientes o a funcionarios públicos demuestra respeto por una relación comercial, mientras que en otras culturas se considera soborno. Del mismo modo, según los economistas conductuales Michel André Maréchal y Christian Thöni, en las relaciones de negocios entregar regalos puede considerarse un ejercicio para distender la negociación o, por el contrario, una práctica cuestionable. Y estas expectativas y reglas sobre lo que está aceptado se aprenden y refuerzan observando a los demás miembros del grupo. Así pues, en países donde los individuos acostumbran a ver a otros pagando sobornos para obtener un trato preferente, perciben que tal proceder está aceptado socialmente. Con el tiempo se va difuminando la línea entre conducta ética y no ética, y la deshonestidad se convierte en la «manera de hacer negocios».

Lo interesante es que, en un estudio intercultural que publicamos en 2016 con los investigadores del comportamiento Heather Mann, Lars Hornuf y Juan Tafurt, descubrimos que la tendencia básica de las personas a comportarse con deshonestidad es parecida en todos los países. Analizamos a 2179 participantes nacidos y residentes en EE.UU., Colombia, Portugal, Alemania y China. Mediante un juego similar al de nuestros estudios sobre el soborno, observamos que los niveles de engaño eran muy parecidos en estos países. Con independencia del país, la gente hacía trampa, pero solo hasta un punto en que el dinero que ganaban les permitía seguir manteniendo una imagen moral positiva de sí mismos. Y, al contrario de lo que suele creerse sobre estos países (según analizamos con un

Países más y menos corruptos

Los niveles de corrupción en el sector público varían mucho en todo el mundo, según Transparencia Internacional. Cada año, esta agencia no gubernamental utiliza encuestas de opinión y valoraciones de expertos para clasificar países en una escala de corrupción de 0 a 100. La gráfica presenta la evolución de estos índices de 2012 a 2018, de los países más y menos corruptos, y de los que han experimentado mayores cambios en el grado de corrupción. Los niveles de conducta deshonesta pueden empeorar o disminuir con sorprendente rapidez, pero se mantienen bastante estables en los países menos corruptos. Curiosamente, los estudios conductuales indican que la inclinación innata de las personas a comportarse de manera deshonesta es poco más o menos la misma en todos los países, con independencia de los índices de corrupción de estos.



FUENTE: TRANSPARENCIA INTERNACIONAL (*datos del IPC*); TIFFANY FARRANT-GONZALEZ (*gráfico*)



BILLETES DE DÓLAR FALSOS lanzados por un manifestante vuelan alrededor del entonces presidente de la FIFA después de un escándalo de corrupción en 2015.

grupo distinto de participantes), no hallamos más tramposos en aquellos con altos niveles de corrupción (como Colombia) que en aquellos con niveles bajos (como Alemania).

Entonces, ¿por qué observamos importantes diferencias en los niveles de corrupción y soborno entre países? Ocurre que, aunque la tendencia innata de los individuos a comportarse o no de manera honesta es parecida en los diferentes territorios, las normas sociales y la aplicación de la ley influyen de manera poderosa en las percepciones y los comportamientos. En 2007, los economistas Raymond Fisman y Edward Miguel publicaron un estudio sobre infracciones de estacionamiento de los diplomáticos de las Naciones Unidas que vivían en Manhattan. Descubrieron que los diplomáticos de países con altos niveles de corrupción acumulaban más multas de aparcamiento sin pagar. Pero cuando las autoridades adquirieron la potestad de confiscar las matrículas diplomáticas de los transgresores, el número de multas sin pagar disminuyó de manera significativa. Su trabajo indica que las normas culturales y la aplicación de la ley son factores clave a la hora de conformar la conducta ética.

PROFUNDIZAR MÁS

Pero ¿cuáles son los mecanismos psicológicos que intervienen en la transacción de un soborno? Los investigadores de la conducta los han examinado en el laboratorio y con trabajo de campo. En investigaciones recientes, los economistas conductuales Uri Gneezy, Silvia Saccardo y Roel van Veldhuizen estudiaron la psicología que subyace a la aceptación de sobornos. Realizaron un estudio de laboratorio con 573 participantes, divididos en grupos de tres. Dos de ellos competían por un premio escribiendo chistes y el tercero elegía al ganador. Los escritores podían sobornar al evaluador introduciendo cinco euros en un sobre cuando entregaban el chiste. Gneezy y sus colaboradores estudiaron la reacción de los evaluadores y cómo el soborno distorsionaba sus dictámenes. Descubrieron que, cuando los evaluadores podían quedarse solo con el dinero del ganador, los sobornos alteraban su criterio; pero cuando podían quedarse con el dinero fuera quien fuera el ganador, los sobornos ya no afectaban a su decisión. Este estudio sugiere que a la gente le influyen los sobornos debido a un interés personal y no porque quieran devolver el favor a quien se lo haya pagado.

En otros estudios relacionados publicados en 2017, Nils Köbis, en la actualidad en la Universidad de Ámsterdam, y sus colaboradores pusieron a prueba la idea de que la corrupción grave surge de forma gradual por medio de una serie de actos de importancia creciente. Descubrieron que, de hecho, los participantes de sus cuatro experimentos tendían a comportarse con falta de ética cuando se les daba la posibilidad de hacerlo de manera abrupta; es decir, cuando se les tentaba con una sola oportunidad de saltarse la ética para conseguir una gran ganancia, más que cuando se les presentaban varias ocasiones de conseguir pequeños beneficios. Los investigadores concluyeron que «algunas veces el camino hacia la corrupción atraviesa un gran precipicio y no una pendiente resbaladiza».

Dado lo nociva que es la corrupción para la sociedad, creemos que resulta esencial seguir investigando sus raíces psicológicas. Hay tres áreas que demandan nuevas investigaciones. En primer lugar, necesitamos una explicación más exhaustiva sobre las razones por las que una cultura se comporta de manera poco ética: ¿qué es lo que propicia que alguien proponga un soborno? ¿De qué depende la probabilidad de aceptarlo? En segundo lugar, ¿cuáles son las consecuencias del soborno? Queda claro que tal conducta y, en general, la falta de honestidad, son contagiosas. Pero futuras investigaciones podrían indagar en las repercusiones del soborno a largo plazo y en todos los ámbitos: ¿qué ocurre cuando la gente se ve expuesta continuamente al soborno? ¿La exposición reiterada fortalece o debilita el efecto de los sobornos en la deshonestidad individual? Por último, ¿qué tipos de intervenciones resultarían más eficaces la hora de reducir las peticiones y aceptaciones de sobornos?

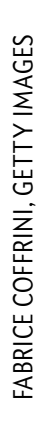
Volviendo a nuestro ejemplo inicial, vemos que la oferta corrupta del empleado del ayuntamiento podría haber parecido trivial o, al menos, haberse considerado un hecho aislado. Por desgracia, una sola petición de soborno afectará al solicitante y al destinatario. Y, lo que es más importante, con el tiempo su efecto dominó puede afectar a numerosos individuos, extenderse con rapidez por toda la sociedad y, si no se controla, consolidar una cultura de corrupción.

PARA SABER MÁS

The (honest) truth about dishonesty. Dan Ariely. HarperCollins, 2012.
(Dis)honesty: The truth about lies. Documental protagonizado por Dan Ariely y dirigido por Yael Melamede. Bond/360, 2015.

EN NUESTRO ARCHIVO

El cerebro se acostumbra a la deshonestidad. La redacción en *MyC* n.º 83, 2017.
Los orígenes de la moralidad. Michael Tomasello en *IyC*, noviembre de 2018.



PSICOLOGÍA

ILUSIONES Y SESGOS COGNITIVOS

CONOCER LOS ERRORES QUE COMETE NUESTRA MENTE NOS AYUDA A TOMAR MEJORES DECISIONES Y A PROTEGERNOS DE POSIBLES MANIPULACIONES

Helena Matute



Helena Matute es catedrática de psicología experimental en la Universidad de Deusto, en Bilbao. Ha sido presidenta de la Sociedad Española de Psicología Experimental y es miembro de número de Jakiunde, la Academia de las Ciencias, las Artes y las Letras del País Vasco. Ha recibido los premios Prisma y Ciencia Jot Down – DIPC de divulgación científica. Es autora de *Nuestra mente nos engaña* (Shackleton Books, 2019).

Son muchos, y muy importantes, los problemas que aquejan en la actualidad a nuestra sociedad y que tienen que ver con las vulnerabilidades de la mente humana. Problemas serios y nada despreciables relacionados con la salud pública, como el movimiento antivacunas, el abuso de los antibióticos y la exaltación de las pseudociencias, son algunos ejemplos. En otros ámbitos tenemos el negacionismo del cambio climático o la desinformación y desestabilización política a través de las redes sociales. Todos estos fenómenos tienen una cosa en común: se nutren de los sesgos y errores de nuestro aparato cognitivo.

Las personas estamos continuamente dando forma al mundo. Vivimos rodeados de información incierta y parcial, que debemos organizar, en función de lo que ya sabemos, para predecir lo mejor posible el mundo que nos vamos encontrando y adaptarnos a él. Pero puede que la forma en la que editamos los recuerdos esté sesgada por nuestras preferencias políticas y caigamos en la ilusión de que nuestro partido favorito está haciendo bien las cosas cuando los datos no lo avalan. O puede que nuestra estimación de si existe o no relación causal entre unas hierbas que estamos tomando y la remisión de los síntomas de una enfermedad esté también sesgada por nuestras creencias y concluyamos que esas hierbas nos curan, aunque ello no sea cierto. Así pues, comprender cómo funcionan estos errores de la mente se convierte en algo absolutamente necesario para poder combatir muchos de los problemas que afectan a nuestra sociedad.

¿REALIDAD O ILUSIÓN?

Los sesgos cognitivos son errores sistemáticos que cometemos todos, en nuestros razonamientos, nuestra atención, la memoria, la percepción del mundo y la manera de dar sentido a lo que nos rodea. Nuestra



manera de aprender, de buscar información, de recordar y de editar los recuerdos está también sujeta a sesgos cognitivos.

Pero estos errores de la mente no son aleatorios, sino predecibles. Podemos provocarlos los investigadores en el laboratorio de manera controlada para fines científicos y sin consecuencias serias para los voluntarios que se prestan a participar en los experimentos —en todo caso, con consecuencias positivas cuando el objetivo es enseñar a los usuarios a reducir sus sesgos y errores—. Pero también pueden provocarlos las empresas de publicidad, las redes sociales y las grandes plataformas de Internet a través de sus algoritmos de inteligencia artificial, que a menudo son diseñados con el propósito de sacar provecho de estos sesgos. En estos casos de explotación de los errores cognitivos con fines no científicos, las consecuencias para los usuarios pueden ser graves.

Para explicar lo que es un sesgo cognitivo, me gusta utilizar la metáfora de una brújula. Si estuviera estropeada o rota, sin más, cometería errores aleatorios: un día nos llevaría hacia el norte, otro día hacia el sur. Probablemente nos daríamos cuenta enseguida de que algo va mal. Pero si la brújula estuviera sesgada, los errores serían sistemáticos. Si lo estuviera hacia el noroeste, nos acabaría llevando siempre en esa dirección. No nos llevaría al azar, sino siempre en una dirección errónea concreta y de manera consistente. Y estos errores son más difíciles de detectar. Podemos no darnos cuenta nunca, pensar que el norte está allí donde nos indica nuestra brújula sesgada. Si no somos un poco escépticos y no ponemos la brújula a prueba, es fácil que no nos demos cuenta del fallo hasta que sea demasiado tarde y nos hallemos ante un error de mayores consecuencias.

Así operan también los sesgos cognitivos. Son errores mentales que cometemos todos y que se pueden predecir, dado que en todos nosotros ocurren en las mismas situaciones y funcionan de la misma manera y en la misma dirección. Tal y como dice el refrán: todos tropezamos con la misma piedra. Una y otra vez.

Nuestra mente «nos engaña» porque es fruto de muchos años de evolución y adaptación en un ambiente muy distinto al que plantea la vida moderna. Una respuesta que en el mundo de las cavernas resultaba ventajosa puede que en el mundo actual sea poco adecuada, por lo que nos conduce a cometer fallos.

Un buen ejemplo de este fenómeno lo tenemos cuando nos fiamos más del curandero amable que del médico que sabe lo que hace, pero que es de trato más seco y nos dedica menos tiempo. Es el curandero amable en quien la evolución nos ha enseñado a confiar; es el amigo, el familiar y el conocido al que prestamos atención cuando nos sentimos débiles, porque esta ha sido la respuesta que durante toda la evolución nos ha servido para sobrevivir. Ello se traduce en que tengamos una disposición intuitiva a escuchar, por ejemplo, los consejos de salud (y de otros temas) procedentes de actores u otros personajes famosos, que nos recomiendan, por ejemplo, no vacunar a los niños —aunque esto sea perjudicial para los pequeños y para toda la sociedad—, y nos fiamos de ellos simplemente porque su rostro nos resulta más familiar que el del médico y su sonrisa más atractiva. Es el sesgo de familiaridad y opera a diario en nuestra vida.

Los sesgos tienen siempre una razón de ser. Por lo general corresponden a atajos cognitivos que en el día a día son (o fueron) muy útiles. El problema es que cuando cambian las condiciones, entonces ese atajo que nos permitía hacer las cosas de manera rápida y efectiva, casi sin pensar, se convierte en una trampa que puede tener consecuencias letales (como en el ejemplo de la no vacunación).

Nuestra mente «nos engaña» porque es fruto de muchos años de evolución y adaptación en un ambiente muy distinto al que plantea la vida moderna

Desde los primeros trabajos de los psicólogos Daniel Kahneman y Amos Tversky en 1983, buena parte de la psicología experimental ha estado encaminada a profundizar en el conocimiento de estos errores de la cognición humana. No podremos, por tanto, abordar aquí toda la investigación sobre el fenómeno. Me centraré en dos ejemplos que conozco bien, ya que venimos investigándolos en nuestro laboratorio desde hace más de dos décadas (en 2015 publicamos una revisión de estos trabajos en *Frontiers in Psychology*).

PSEUDOTERAPIAS QUE (PARECE QUE) FUNCIONAN

Muchos de los experimentos que llevamos a cabo se centran en uno de los sesgos cognitivos que más distorsiona nuestra percepción de la realidad: la ilusión de causalidad, es decir, la que nos hace pensar que un elemento (causa) guarda una relación causal con otro (efecto) en situaciones en que esta relación no es cierta.

Dado que esta ilusión se encuentra en la base del éxito de numerosas pseudoterapias (la homeopatía, el reiki y muchas otras), hemos desarrollado una serie de experimentos virtuales (simulaciones por ordenador) con medicamentos ficticios con el propósito de averiguar qué situaciones dan lugar a una mayor ilusión, o sesgo, de causa-efecto, es decir, en qué casos un (supuesto) fármaco puede dar la sensación de ser eficaz sin serlo.

Los voluntarios que participan es estos estudios suelen ser, o bien estudiantes de universidad, cuando los experimentos los realizamos en situación controlada de laboratorio (controlando nosotros todos los detalles, como el tamaño de la pantalla, la ausencia de distracciones, etcétera), o bien participantes anónimos que realizan el experimento vía Internet, en situación

EN SÍNTESIS

Nuestra mente comete errores sistemáticos sin que nos demos cuenta. Es víctima de factores que distorsionan nuestra interpretación del mundo, como el sesgo de familiaridad o la ilusión de causalidad.

Estos fallos se hallan en la base de fenómenos como el movimiento antivacunas, el negacionismo climático y la desinformación política a través de Internet.

Ser conscientes de este tipo de vulnerabilidades psicológicas fomenta el escepticismo y nos protege de posibles engaños y manipulaciones.

ARIADNA GEA

totalmente ruidosa y desconocida por nuestra parte. Pueden estar en una biblioteca, viendo la televisión o en la parada del autobús. No lo sabemos. Lo hacemos de esta forma ruidosa sobre todo cuando queremos verificar si un resultado obtenido en el laboratorio se replica en un contexto más realista.

En cualquier caso, lo que hacemos es mostrar a los participantes una serie de fichas médicas de pacientes ficticios que han tomado o no un medicamento ficticio, por ejemplo el Batatrim, y les pedimos que, tras observar las fichas de, pongamos, 100 pacientes, nos indiquen si creen que el Batatrim es eficaz o no. Con ello estamos simulando lo que ocurre en la vida real cuando alguien toma un «pseudomedicamento» por consejo de un amigo y le da la sensación, absolutamente real, de que está funcionando, ya que muchas veces puede ocurrir que, tras tomarse la pseudomedicina, se encuentra mejor —aunque sea por casualidad.

Esta contigüidad temporal es lo que tratamos de simular en nuestros experimentos, pues es una de las claves más usadas para inferir causalidad. Dado que es muy difícil en el día a día saber si una relación es causal o no, a menudo usamos el criterio de contigüidad para estimarlo —con cierto grado de error—. A veces nuestra estimación resulta correcta; otras, no. Pensemos en las danzas de la lluvia que, a base de repetirlas con frecuencia, antes o después acababan coincidiendo con las lluvias. Esa contigüidad entre la danza y la esperada lluvia se utilizaba inmediatamente como clave para fortalecer la ilusión de causa-efecto.

Volviendo al ejemplo de los experimentos con medicamentos ficticios, para lograr que el Batatrim parezca eficaz sin serlo, lo que hacemos es manipular el número de pacientes que lo toman y los que no lo toman, así como el número de los que luego se encuentran mejor y los que no. Imaginemos que, por cada 100 pacientes ficticios que han tomado el medicamento, hay 80 que dicen encontrarse bien el día siguiente. Lo que mostramos a los voluntarios sería casi como el típico anuncio de televisión. Aunque ven las fichas de los pacientes de una en una, el mensaje final es: «el 80 por ciento de los pacientes que lo han probado aseguran encontrarse mejor».

En esos casos, los voluntarios suelen llegar a la misma conclusión que buscaría también la empresa de publicidad que muestra esos datos tan sesgados —y quizá la misma que ha extraído usted—: «si el 80 por ciento de los pacientes que lo han probado se encuentra mejor, eso solo puede significar que se trata de un medicamento altamente eficaz». Pues no.

No es cierto. No podemos sacar conclusiones sobre la eficacia de algo si solo tenemos los datos de lo que ocurre cuando ese algo está presente. Deberíamos preguntarnos cómo se encuentran los pacientes que no tomaron el medicamento. ¿Se han curado igualmente? ¿En mayor o en menor proporción? Porque si resulta que el 80 por ciento de estos también se han curado, lo que nos están indicando los datos es que esta dolencia se cura al cabo de unos días, tanto si tomas el medicamento como si no. Y esa información (cuántos pacientes no tomaron el medicamento y cuántos de esos mejoraron) necesitamos tenerla en cuenta para poder extraer conclusiones sobre si existe o no relación causal entre tomar el medicamento y curarse. En nuestros experimentos solemos proporcionarla, pero los voluntarios se fijan poco en ella; le dan poco peso. He aquí un gran error que les lleva a sobrestimar la causalidad.

Las investigaciones en este campo han puesto de manifiesto cuáles son las variables que más influyen en la construcción de esta ilusión causal y qué hace que se desarrolle con más o menos fuerza. Entre estas destacan la frecuencia de la causa y la del efecto.

La ilusión de causalidad es más fuerte cuando la causa ocurre con frecuencia: en el ejemplo anterior, cuando tomamos a menudo

LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN PERIODISMO DE DATOS



El público asume que la mera existencia de datos implica que esos datos son veraces. Pero la realidad es que todos los datos están contaminados. Son las personas quienes generan los datos y, por tanto, estos presentan defectos, igual que las personas. Uno de los cometidos de los periodistas de datos consiste en cuestionar la premisa de veracidad, lo que supone una importante labor de responsabilidad —una herramienta de control para asegurarnos de que no nos estamos dejando arrastrar por los datos de forma colectiva y que no estamos tomando decisiones sociales inadecuadas.

Para cuestionar los datos debemos llevar a cabo un enorme trabajo de limpieza. Hay que depurarlos y organizarlos: hay que comprobar las matemáticas. Y también debemos admitir la incertidumbre. Si eres un científico y no posees datos, no puedes escribir tu artículo. Pero uno de los aspectos maravillosos de ser periodista de datos es que la escasez de datos no nos disuade —en ocasiones extraigo conclusiones igual de interesantes a partir de la falta de datos—. Como periodista puedo emplear las palabras, que son una herramienta magnífica para comunicar la incertidumbre.

Meredith Broussard, *profesora asociada del Instituto Arthur L. Carter de Periodismo de la Universidad de Nueva York, en declaraciones a Brooke Borel*

BUD COOK

el falso medicamento. Quizá por eso los vendedores de pseudomedicinas suelen insistir en que tomemos varias píldoras cada pocas horas; insisten, además, en que no tienen efectos secundarios y que, por tanto, no hay riesgo aunque nos prescriban muchas tomas. Con ello incrementan la probabilidad de que se produzca la contigüidad temporal que tanto potencia la ilusión.

También influye mucho en la formación de esta ilusión el hecho de que el efecto deseado ocurra con frecuencia. Pensemos en el dolor de espalda. Dado que cursa con crisis de dolor y remisiones espontáneas, es más probable que, si estamos tomando alguna pseudomedicina cuando remite el dolor agudo, asociemos ese alivio con la aplicación reciente de la pseudoterapia. Ello convierte a este tipo de dolencias en un campo abonado para la proliferación de las pseudoterapias. Si estos resultados positivos ocurren con frecuencia porque hay muchas remisiones espontáneas de la enfermedad (y además la pastilla la tomamos también con frecuencia), entonces el desarrollo de la ilusión de causa-efecto está garantizada.

Y todavía podemos rizar el rizo y añadir a nuestros experimentos otro factor distorsionador: la ilusión de control. Cuando dejamos que sean los propios voluntarios los que deciden en qué casos estará presente la causa (a qué pacientes se administra el medicamento), lo que ocurre es que suelen aplicarlo a la mayoría (desean curarlos a todos). Ello hace que, al final, obtengan información sesgada: conocerán solo lo que ocurre cuando la causa (el medicamento) está presente. No tienen forma de saber que si no hubiesen hecho nada los pacientes se habrían curado igualmente. Lo que ocurre entonces es que se agudizan los efectos que solemos observar en situaciones más neutrales. Se produce una ilusión de control, ya que el individuo no solo desarrolla la creencia de que existe una relación causal, sino que, además, cree que tiene control sobre el resultado, es decir, que su propia conducta es la causa de los resultados positivos obtenidos.

Este problema tiene implicaciones en todas aquellas situaciones en las que una persona tenga mayor tendencia a actuar (administrar la posible causa) que a no actuar. Ello ocurre cuando nos sentimos personalmente involucrados en cierta cuestión y, por tanto, estamos más motivados para tratar de conseguir el efecto deseado. En el caso de una dolencia que nos afecta, tenderemos a medicarnos con mayor frecuencia y, por tanto, nos quedaremos sin saber que nos habríamos curado igualmente sin tomar nada.

Es importante hacer llegar esta información a la población. Si los ciudadanos son conscientes de ese riesgo de estimación sesgada, les estaremos dotando de recursos para tomar mejores decisiones y con ello evitaremos conductas de salud tan perjudiciales como el abuso de los antibióticos.

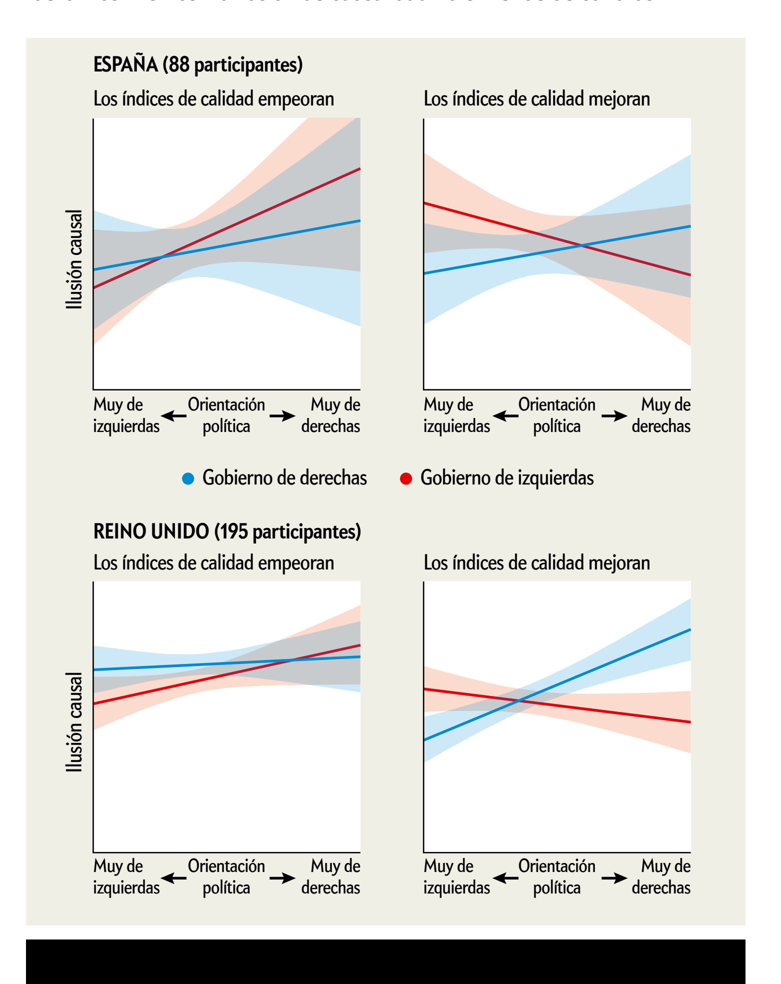
En experimentos realizados en 2013 junto con mis colegas Itxaso Barbería, Fernando Blanco y Carmelo Cubillas, y posteriormente en 2018 junto con Itxaso Barbería, Elisabet Tubau y Javier Rodríguez-Ferreiro, hemos comprobado que enseñar a niños y jóvenes las

Preferencias políticas que nublan la razón

Para averiguar si nuestras preferencias políticas influyen en el modo en que valoramos la eficacia de un Gobierno, diseñamos un experimento. A los participantes se les presentaba una situación en la que un país (ficticio) era gobernado por un partido (ficticio) que podía o no aplicar ciertas medidas políticas. A la mitad de los voluntarios se les dijo que el Gobierno era de derechas; a la otra mitad, de izquierdas. Primero se les presentaba una ficha en la que se indicaba si cierta normativa (ficticia) se había aplicado o no. A continuación, recibían información sobre si los indicadores de calidad de la población habían mejorado o empeorado. La operación se repetía con otra normativa. Al final, se les pedía que valoraran si la estrategia de ese Gobierno estaba resultando eficaz, es decir, si podía concluirse que existía una relación de causa-efecto entre las medidas aplicadas y la mejora de los índices de calidad.

El experimento se diseñó para que la probabilidad de mejora de los indicadores fuera exactamente la misma en presencia o ausencia de las medidas políticas (es decir, que la acción del Gobierno era irrelevante). Sin embargo, se mostraba un elevado porcentaje de resultados positivos para fomentar la ilusión de que estos se debían a la estrategia del Gobierno. Y sí, ese fue el efecto obtenido, pero con un matiz importante: la ilusión de que las mejoras se debían a la acción del Gobierno era mayor cuando el partido era del mismo color político que el voluntario.

El experimento se realizó en España y en el Reino Unido. Los resultados fueron los mismos. La ilusión de causalidad no entiende de culturas.



FUENTE: «CAUSAL ILLUSIONS IN THE SERVICE OF POLITICAL ATTITUDES IN SPAIN AND THE UNITED KINGDOM», FERNANDO BLANCO, BRAULIO GÓMEZ-FORTES Y HELENA MATUTE EN *FRONTIERS IN PSYCHOLOGY*, VOL. 9, ART. NÚM. 1033, JUNIO DE 2018

herramientas más básicas del pensamiento científico y el uso de condiciones de control reduce la ilusión causal.

Sería deseable, por tanto, que este conocimiento se incluyera en el currículo de las diferentes etapas educativas, para poder protegernos desde niños de este tipo de ilusiones mentales (y, por tanto, vulnerabilidades), no solo en cuestiones relacionadas con la salud, sino en todos los ámbitos de la vida.

POLÍTICOS (QUE PARECEN) EFICIENTES

El otro fenómeno que también hemos investigado en nuestro laboratorio es la influencia de los sesgos cognitivos en la percepción pública de la política. En 2018 llevamos a cabo, junto con mis colaboradores Fernando Blanco y Braulio Gómez-Fortes, un experimento para averiguar si las preferencias políticas afectan al modo de interpretar una posible relación de causa-efecto en un contexto político. (Para saber si los voluntarios eran de derechas o de izquierdas, simplemente les pedimos, al terminar el experimento, que se definieran en una escala continua y gradual, que iba de «muy de izquierdas» a «muy de derechas».)

No podemos sacar conclusiones sobre la eficacia de algo si solo tenemos los datos de lo que ocurre cuando ese algo está presente

El escenario que se planteaba era el siguiente: un país (ficticio) estaba en manos de un partido político (ficticio) que podía poner en marcha o no una normativa determinada (esta se identificaba únicamente por un código de letras y números aleatorios para que no pudiera ser asociada con ninguna política real). Los participantes recibían información sobre si la normativa había sido aplicada o no y sobre si los indicadores de calidad de la población habían mejorado o no. A continuación, los voluntarios pulsaban un botón para ver el siguiente ejemplo, y en este volvía a aparecer otra normativa (de la que solo cambiaba el código aleatorio), que se implantaba o no, y que iba seguida, o no, por una mejora de los indicadores de calidad. Al final, lo que pedíamos a los participantes era que juzgaran si la estrategia del Gobierno estaba siendo eficaz, es decir, si era posible concluir una relación de causa-efecto entre las acciones de ese partido y la mejora de los índices de calidad.

Una vez más (al igual que en los experimentos con medicamentos ficticios), manipulábamos las condiciones de manera que la probabilidad de mejora de los indicadores fuese exactamente la misma cuando la normativa se había implantado que cuando no se había aplicado. Es decir, la acción del Gobierno era en realidad irrelevante: daba igual lo que hiciera, pues los indicadores mejoraban o no con la misma probabilidad, tanto si hacía algo como si no. Sin embargo, como mejoraban con frecuencia (usábamos un elevado porcentaje de resultados positivos para fomentar la ilusión de causalidad), podía dar la sensación de que ello se debía a la estrategia del Gobierno. Hasta aquí, todo es bastante parecido a lo que ocurre en el experimento con los medicamentos que generan la ilusión de estar funcionando bien. En principio, también los partidos políticos podían acabar generando esa ilusión de estar haciendo bien las cosas si los índices de calidad aumentaban, aunque fuera de manera independiente. Lo más interesante de este experimento viene ahora.

Los participantes habían sido divididos en dos grupos: a la mitad les dijimos que el Gobierno era de derechas; a la otra mitad, que era de izquierdas. Y esto, solo esto, causó que interpretaran los datos de manera diferente y que desarrollaran con mayor o menor grado la ilusión causal, según la cual llegaban a creer que las nuevas normativas estaban teniendo efectos positivos en los índices de calidad. Y esto ocurría —como el lector quizás habrá anticipado— solo cuando el color político del Gobierno era el de su preferencia. Cuando gobernaba el partido de izquierdas (o derechas) y el participante se sentía de izquierdas (o de derechas), entonces desarrollaba la ilusión de causa-efecto según la cual la mejora de los indicadores se debía al buen hacer de su partido favorito. Cuando el Gobierno era de signo contrario al suyo, entonces los participantes tendían a ser más escépticos y detectaban mucho mejor la ausencia de relación entre las políticas aplicadas y los resultados obtenidos.

Y otro aspecto interesante: observamos prácticamente los mismos efectos cuando realizamos el experimento en España y en el Reino Unido. Dado que este tipo de fenómenos afectan a la parte más básica de nuestro engranaje cognitivo, no suelen mostrar diferencias culturales. Así que, cuando nos parece que en tal país funcionan mejor o peor las cosas que en otro, no es porque sus ciudadanos sean mejores o peores, sino porque las herramientas desarrolladas para evitar estos sesgos y muchos otros son más o menos eficaces.

Para terminar, me gustaría insistir en que los casos abordados aquí son solo ejemplos ilustrativos. Investigar más a fondo la mente humana y aplicar lo que vamos descubriendo sobre los sesgos y errores cognitivos debería ayudarnos enormemente a reducir muchos de los problemas que, como la proliferación de las pseudociencias, el movimiento antivacunas o el negacionismo climático, tienen una base psicológica.

PARA SABER MÁS

Las trampas del deseo. Daniel Ariely. Ariel, Barcelona, 2013.
Pensar rápido, pensar despacio. Daniel Kahneman. Debate, Madrid, 2015.
Illusions of causality: How they bias our everyday thinking and how they could be reduced. Helena Matute et al. en *Frontiers in Psychology*, vol. 6, art. n.° 888, 2015.
Causal illusions in the service of political attitudes in Spain and the United Kingdom. Fernando Blanco, Braulio Gómez-Fortes y Helena Matute en *Frontiers in Psychology*, vol. 9, art. n.° 1033, junio de 2018.
Bridging the divide between causal illusions in the laboratory and the real world: The effects of outcome density with a variable continuous outcome. Julie Y. L. Chow, Ben Colagiuri y Evan J. Livesey en *Cognitive Research: Principles and Implications*, vol. 4, art. n.° 1, enero de 2019.
Nuestra mente nos engaña: sesgos y errores cognitivos que todos cometemos. Helena Matute. Barcelona, Shackleton Books, 2019.

EN NUESTRO ARCHIVO

Psicología de las preferencias. Daniel Kahneman y Amos Tversky en *IyC*, marzo de 1982.
Manipulación y persuasión numérica. Bartolo Luque en *IyC*, diciembre de 2018.
El autoengaño de los antivacunas. Sara Pluviano y Sergio Della Sala en *MyC* n.° 95, 2019.

PARTE 3:

INCERTIDU



MBRES

VERDADES, MENTIRAS E INCERTIDUMBRES

Ilustración de Red Nose Studio

TEORÍA DE LA DECISIÓN

DECIDIR EN LA INCERTIDUMBRE

CÓMO MEJORAR LA EVALUACIÓN DEL RIESGO CUANDO EL CONOCIMIENTO ES PARCIAL

Baruch Fischhoff



Baruch Fischhoff es psicólogo y ocupa la cátedra dotada por la Fundación Howard Heinz en el Departamento de Ingeniería y Política Pública y en el Instituto de Políticas y Estrategia de la Universidad Carnegie Mellon. Es miembro de las Academias Nacionales de Ciencias y de Medicina de EE.UU. y antiguo presidente de la Sociedad para el Análisis de Riesgos.

Los psicólogos estudian la toma de decisiones planteando problemas ficticios a los probandos. Sin ir más lejos, mis colegas y yo planteamos el supuesto de una enfermedad hipotética causada por dos cepas. Luego preguntamos: «¿Qué preferiría tener a su disposición? ¿Una vacuna que le protegiera completamente contra una cepa o una que le confiriera una protección del 50 por ciento contra ambas?». La mayoría escogió la primera. Dedujimos que se dejaron influir por la promesa de la protección completa, aunque ambas inyecciones comportaban en conjunto el mismo riesgo de enfermar.

Pero vivimos en un mundo con problemas reales, no solo ficticios, situaciones que a veces exigen que la gente tome decisiones de vida o muerte con un conocimiento incompleto o incierto. Hace años, cuando comenzaba a investigar la toma de decisiones con mis colaboradores Paul Slovic y la fallecida Sarah Lichtenstein, ambos en Decision Research (empresa sita en Eugene, Oregón), comenzamos a recibir llamadas por asuntos que distaban de ser banales. Eran directivos de empresas productoras de energía nuclear o de organismos modificados genéticamente (OMG) que, en esencia, nos decían: «Tenemos una tecnología maravillosa, pero a la gente no le gusta. Aún peor, no les gustamos nosotros. Incluso hay quien piensa que somos malvados. Ustedes son psicólogos. Hagan algo».

Y lo hicimos, aunque probablemente no lo que esperaban. En lugar de intentar cambiar la opinión de la gente, nos pusimos a averiguar qué pensaban realmente de esas tecnologías. Con ese fin, les formulamos preguntas concebidas para saber cómo valoraban los riesgos. Las respuestas nos ayudaron a entender por qué, cuando no se dispone de todos los elementos de juicio, la gente concibe creencias sobre asuntos polémicos como la energía nuclear, o, actualmente, el cambio climático.

INDICIOS DE MORTALIDAD

Primero quisimos saber cómo de bien conoce el público general los riesgos de la vida cotidiana. Pedimos a grupos de personas legas en la materia que estimaran el número anual de víctimas mortales por causas diversas, como el ahogamiento, el enfisema o el homicidio, y luego que compararan sus cálculos con las estadísticas. A tenor de investigaciones previas,

WESLEY ALLSBROOK



esperábamos que sus predicciones fueran certeras en términos generales, pero resulta que sobrestimaron las muertes por causas que generan revuelo o titulares recurrentes, como asesinatos, tornados, etcétera, y subestimaron las provocadas por «asesinos silenciosos», como el ictus o el asma, que no acaparan grandes titulares.

En conjunto, nuestras predicciones encajaron bien. La gente concede demasiada importancia a las causas de muerte que más se difunden y subestima las que reciben menos atención. Las imágenes de ataques terroristas que se emiten por la televisión, por ejemplo, explicarían por qué quien ve más noticias a través de ese medio se preocupa más por el terrorismo que quien rara vez se sienta ante ella. Pero en el curso del estudio de estas creencias, topamos con un resultado desconcertante. Los firmes detractores de la energía nuclear opinaban que el número de víctimas anuales era sumamente bajo. Entonces, ¿por qué estaban en contra? Esta aparente paradoja nos hizo dudar de si al pedirles que predijeran el promedio de víctimas anuales habíamos definido el riesgo con un margen demasiado estrecho. Así que, provistos con una nueva batería de preguntas, indagamos en el significado real que el riesgo tenía para ellos. Comprobamos que los contrarios a esa energía pensaban que comportaba un alto riesgo de catástrofes de gran alcance. Esa tónica se hacía extensible también a otras tecnologías.

Para saber si esa tendencia variaba cuando se conocía mejor la tecnología en cuestión, formulamos las mismas preguntas a técnicos expertos. Estos generalmente coincidían con el ciudadano común en el número de muertes que la energía nuclear causaba en un año corriente: muy pocas. Pero cuando se les dejó definir el riesgo por sí mismos, a lo largo de una franja de tiempo más amplia, no lo vieron tan elevado. A diferencia de ellos, el público general hacía hincapié en lo que podía ocurrir en un año nefasto. Ambos colectivos creían estar hablando de

EN SÍNTESIS

Cuando la gente evalúa riesgos nuevos, confía en esquemas mentales derivados de experiencias previas que pueden no ser aplicables.

Preguntar a las personas cómo conciben esas valoraciones revela ideas preconcebidas engañosas.

Los expertos también pueden someter a prueba el riesgo implícito en los mensajes para cerciorarse de que la ciudadanía los entienda con claridad.

LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO

El control que uno tiene en las ciencias experimentales es mucho más férreo que en la ciencia de la conducta— la capacidad para detectar pequeños efectos en la gente es mucho menor que, pongamos por caso, en la química. No solo eso; el comportamiento humano cambia con el tiempo y según la cultura. Cuando pensamos acerca de la veracidad en la ciencia del comportamiento, no solo es muy importante reproducir un estudio directamente, sino extender su reproducibilidad a un gran número de situaciones: estudios de campo, estudios correlacionales, longitudinales, etcétera.

Entonces, ¿cómo medimos el racismo? Algo que no es una conducta individual sino un patrón de consecuencias, un sistema integral que oprime a las personas. La mejor aproximación es observar las pautas de conducta y luego ver qué ocurre cuando se altera o se controla una variable. ¿Cómo cambia la pauta? Tomemos el mantenimiento del orden. Si quitamos el prejuicio de la ecuación, la absurda pauta racial persiste. Lo mismo sucede con la pobreza, la educación y multitud de cosas que creemos que predicen el delito. Ninguna basta para explicar las pautas de las actuaciones policiales condicionadas por la cuestión racial. Eso significa que aún tenemos trabajo que hacer. Porque es como si no supiéramos mantener el orden sin ejercer una violencia innecesaria y con una actitud igualitaria. Miremos simplemente a los suburbios. Lo hemos estado haciendo durante generaciones.

Desde luego que existe incertidumbre. En casi ninguna parte de este mundo estamos cerca de confiar en la causalidad. Nuestra responsabilidad como científicos es acotar esas incertidumbres, pues un cálculo erróneo en lo que conduce a algo como el racismo supone la diferencia entre ejercer una función policial correcta o una que no lo es.



Phillip Atiba Goff, *catedrático de equidad policial en el Colegio John Jay de Justicia Penal, de la Universidad de la Ciudad de Nueva York, y presidente del Centro para la Equidad Policial, en declaraciones a Brooke Borel*

BUD COOK

lo mismo, pero en realidad se centraban en partes distintas de la realidad.

ENTENDER EL RIESGO

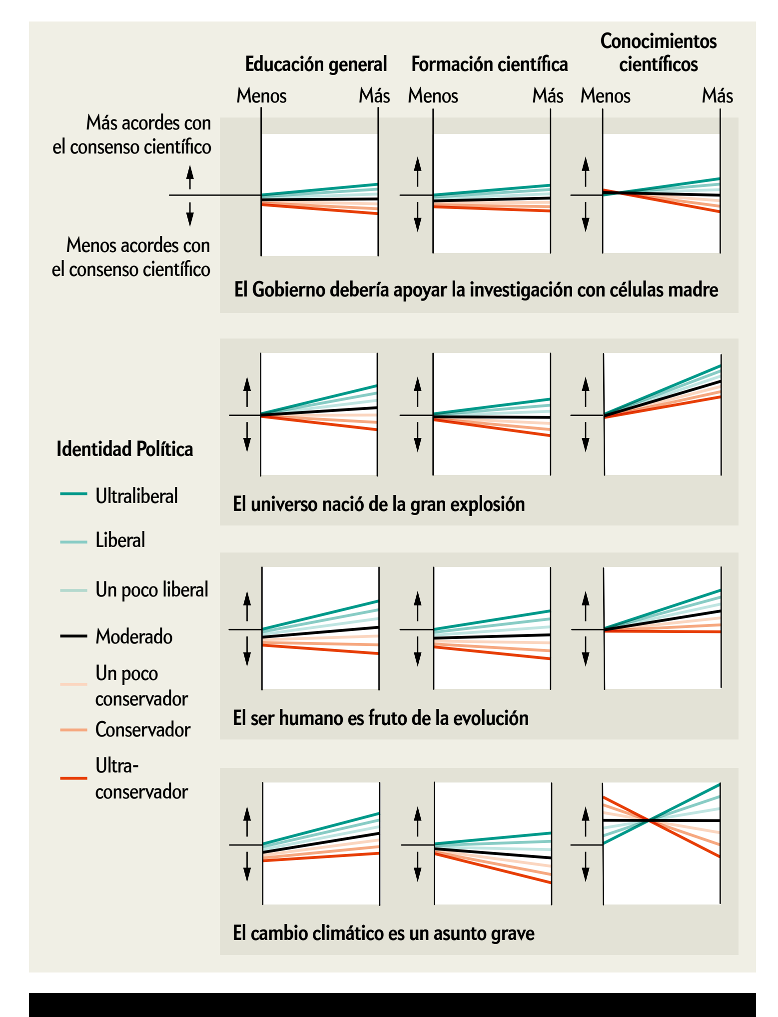
¿Los expertos tenían siempre una comprensión certera de las probabilidades de desastre? Un experto analiza los riesgos dividiendo los problemas complejos en partes más asequibles. En el caso de la energía nuclear estas engloban, entre otros aspectos, el funcionamiento de las válvulas, de los paneles de control, los planes de evacuación y las defensas de ciberseguridad. Con los cultivos de OMG, digamos que esas partes pueden consistir en los efectos sobre la salud humana, la química del suelo, los insectos, etcétera.

La calidad y la precisión de un análisis de riesgo depende de la solidez de la ciencia con que se evalúa cada parte. La base científica sobre la que se sustenta la energía nuclear y los OMG es bastante firme. Pero con las tecnologías novedosas, como los vehículos de conducción autónoma, es otra historia. Los componentes del riesgo podrían radicar en la probabilidad de que los sensores láser del vehículo «vean» a un peatón, la de que un transeúnte actúe de forma predecible, o la de que un conductor de carne y hueso asuma el control en el momento exacto en que un peatón no sea visto o se comporte de forma impredecible. La física de los sensores de luz láser pulsada es bien conocida, pero no lo es tanto su comportamiento en la nieve o la penumbra. Apenas existen investigaciones acerca de la interacción de los peatones con los vehículos autónomos. Y los estudios con conductores predicen que no estarán lo bastante atentos como para solventar con éxito imprevistos esporádicos.

Cuando el conocimiento científico es incompleto, el análisis del riesgo se desplaza de la confianza en hechos contrastados a la opinión o el juicio del experto. Los estudios al respecto indican que suele ser bastante fiable, pero solo cuando el experto recibe buena retroinformación (*feedback*). Por ejemplo, los meteorólogos comparan sistemáticamente las previsiones de lluvia con el pluviómetro de su estación. Dada esa pronta y clara retroinformación, cuando el hombre del tiempo afirma que hay un 70 por ciento de probabilidad de lluvia, llueve en torno al 70 por ciento de las veces. Sin embargo, en el caso de las nuevas tecnologías, como el coche autónomo o la edición genética, esa retroinformación tardará en llegar. Hasta entonces ni siquiera los expertos sabrán con seguridad qué margen de exactitud tienen sus predicciones del riesgo.

Cuando el público discrepa de la ciencia

En cuestiones científicas políticamente controvertidas, la polarización es mayor entre las personas bien informadas. Este efecto se descubrió en dos encuestas nacionales realizadas en 2006 y 2010 en los EE.UU., que abarcaban más de 6500 personas en total. Se quiso saber la opinión de los encuestados sobre varios temas de actualidad y si estaban de acuerdo con el consenso científico. Las discrepancias entre los liberales y los conservadores aumentaban en paralelo con el nivel educativo y la formación científica de los participantes. Una explicación plausible es que la gente más versada está más en sintonía con la postura de su grupo político y más segura en su defensa.



FUENTE: «INDIVIDUALS WITH GREATER SCIENCE LITERACY AND EDUCATION HAVE MORE POLARIZED BELIEFS ON CONTROVERSIAL SCIENCE TOPICS», POR CAITLIN DRUMMOND Y BARUCH FISCHHOFF, EN *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES EE.UU.*, VOL. 114, N.º 36; 5 DE SEPTIEMBRE DE 2017; JEN CHRISTIANSEN (*gráficos*)

LA CIENCIA DE LA CIENCIA DEL CLIMA

La opinión del experto, cuya solvencia depende de una buena retroinformación, entra en juego cuando se barajan los costes y los beneficios que reportaría el poner freno al cambio climático o la adaptación a él. El análisis climático aúna las opiniones de expertos en numerosos campos, algunos obvios, como la química atmosférica y la oceanografía, y otros no tanto, como la botánica, la arqueología o la glaciología. En los análisis climáticos complejos, tales opiniones reflejan un gran conocimiento orientado por la retroinformación basada en datos factuales. Con todo, algunos aspectos aún no están claros.

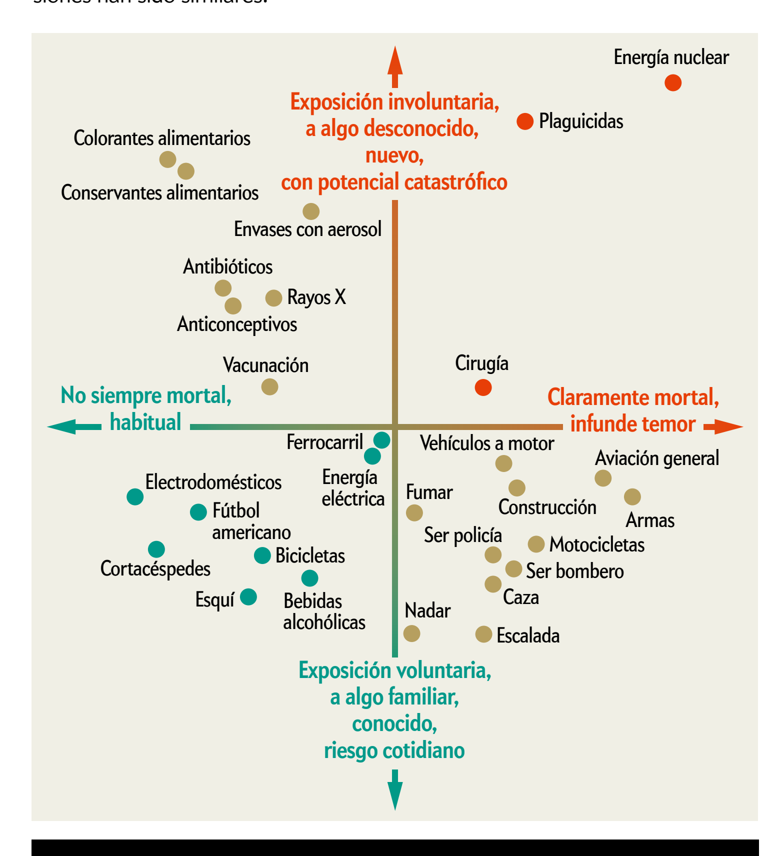
Mi primer contacto con esos análisis se remonta a 1979, en un proyecto de planificación de la investigación climática para los siguientes veinte años. Patrocinado por el Ministerio de Energía de EE.UU., el proyecto contaba con cinco grupos de trabajo. Uno se encargaba de los mares y los polos, otro de la biosfera modificada por el hombre, un tercero de la biosfera menos influida por él y un cuarto de la economía y la geopolítica. El quinto,

al que yo pertenecía, se ocupaba de las respuestas sociales e institucionales a la amenaza.

Incluso entonces, hace cuarenta años, los objetivos eran lo bastante sólidos como para vislumbrar el enorme riesgo que se estaba corriendo con el planeta. La conclusión del informe, que resumía el dictamen de los cinco grupos, fue: «La humanidad no ha conocido nunca las consecuencias probables».

Un asunto arriesgado

El modo en que la gente valora los riesgos que entrañan las tecnologías y las actividades depende de factores como la familiaridad, el carácter forzoso o voluntario de la exposición o la probabilidad de fatalidades. La exposición novedosa e involuntaria y el riesgo de muerte impulsan a ver las cosas como más arriesgadas, juicio que a veces difiere de las estadísticas y los cálculos científicos. Los resultados proceden de encuestas realizadas a personas legas que se publicaron por primera vez en 1978; repetidas a menudo, las conclusiones han sido similares.



FUENTE: «RISK: A VERY SHORT INTRODUCTION», POR BARUCH FISCHHOFF Y JOHN KADVANY. OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2011; READAPTACIÓN DE «HOW SAFE IS SAFE ENOUGH? A PSYCHOMETRIC STUDY OF ATTITUDES TOWARDS TECHNOLOGICAL RISKS AND BENEFITS», POR BARUCH FISCHHOFF ET AL., EN *POLICY SCIENCES*, VOL. 9, N.º 2; ABRIL DE 1978. JEN CHRISTIANSEN (*gráfico*)

PENSAR EN LO IMPENSABLE

Entonces, ¿cómo pueden cumplir los investigadores de este campo con su deber de informar a la ciudadanía sobre el mejor modo de pensar acerca de los acontecimientos y de las opciones que ignoran? Pues bien, los científicos pueden lograr esto si siguen dos lecciones básicas que ofrecen los estudios de la toma de decisiones:

1.ª LECCIÓN: Los hechos reales de la ciencia del clima no hablarán por sí mismos. La ciencia ha de ser traducida en términos que sean pertinentes para las decisiones que la ciudadanía toma acerca de su vida, su comunidad y su sociedad. Si bien la mayoría de los científicos demuestran ser hábiles comunicadores en el aula, fuera de ella no reciben comentarios o valoraciones de lo claros o lo apropiados que son sus mensajes.

Abordar ese problema es sencillo: basta con someter a prueba el mensaje antes de su difusión. Se puede aprender mucho simplemente pidiendo a la gente que lea y parafrasee uno. Cuando los investigadores de la comunicación han pedido esa reformulación, por ejemplo, de las previsiones del tiempo, han averiguado que algunas personas no acaban de entender la afirmación «un 70 por ciento de probabilidad de lluvia». El problema radica en las palabras, no en la cifra. ¿Se quiere decir que lloverá el 70 por ciento del tiempo? ¿Sobre el 70 por ciento de la zona? ¿O que hay una posibilidad del 70 por ciento de que caiga al menos 0,01 mm de lluvia en la estación meteorológica? La interpretación correcta es la última.

Numerosos estudios han constatado que las cifras, como esa del 70 por ciento, generalmente comunican mucho mejor el mensaje que los «cuantificadores verbales», como «probable», «algunos» o «a menudo». Un ejemplo clásico de los años 1950 concierne a una previsión de la Agencia Nacional de Inteligencia de EE.UU., según la cual «había una posibilidad importante de que Yugoslavia fuera atacada en 1951». Cuando se preguntó por la probabilidad que tenían en mente, los analistas que firmaron el documento dieron un margen difícilmente más amplio: del 20 al 80 por ciento. Los soviéticos no la invadieron.

A veces la gente desea saber algo más que la probabilidad de lluvia o de guerra antes de tomar decisiones. Quieren entender los procesos que llevan a esas probabilidades: cómo funcionan las cosas. Los estudios han averiguado que ciertos aspectos esenciales de la investigación sobre el cambio climático no resultan intuitivos para muchas personas; por ejemplo, por qué los científicos todavía se enzarzan en debates cuando están de acuerdo en que el cambio climático supone una amenaza, o qué diferencia al dióxido de carbono de otros contaminantes (su larga permanencia en la atmósfera). La ciudadanía puede rechazar los resultados de las investigaciones si no se le informa más sobre cómo se han obtenido.

2.ª LECCIÓN: Quienes están de acuerdo con los hechos pueden no estarlo con qué hacer al respecto. Una solución satisfactoria para unos puede parecer costosa o injusta para otros.

Un ejemplo: los partidarios de la captación y del secuestro del carbono para reducir el dióxido de carbono atmosférico pueden oponerse a las centrales eléctricas alimentadas con carbón. Temen una consecuencia indirecta: que un carbón «menos contaminante» haga más aceptable la minería a cielo abierto. Aquellos que saben cuál es el propósito del comercio de los derechos de emisión, crear incentivos para reducir las emisiones, pueden creer que los bancos saldrán más beneficiados que el medioambiente.

Estos ejemplos demuestran por qué en situaciones así es tan importante una comunicación bidireccional. Necesitamos saber

qué les pasa por la cabeza a los otros y hacer que se sientan partícipes de la toma de decisiones. A veces esa comunicación destapará malentendidos que la investigación puede paliar. O revelará soluciones que satisfagan a más gente. Un ejemplo es el impuesto al carbono de balance recaudatorio nulo que se aplica en la provincia canadiense de la Columbia Británica, cuya recaudación se destina a rebajar otros impuestos; se ha granjeado un apoyo político de la amplitud suficiente como para sortear varios cambios de gobierno desde 2008. Desde luego que algunas veces una mejor comunicación bidireccional revelará desacuerdos radicales, en cuyo caso el asunto acabará en los tribunales, en manifestaciones y en las urnas.



JÓVENES ACTIVISTAS convocados en Nueva York el pasado mayo para exigir una acción inmediata contra el cambio climático.

MÁS QUE CIENCIA

Estas lecciones sobre el modo en que se comunican e interpretan los hechos revisten importancia porque las decisiones relativas al clima no siempre se basan en lo que la investigación dice o muestra. Para algunas personas, lo que ciertas decisiones suyas denoten acerca de sus creencias prima sobre la evidencia científica o la repercusión económica. Se preguntan cómo influirán sus decisiones en la opinión que los demás tienen de ellas, amén de la opinión sobre sí mismas.

Por ejemplo, hay quienes renuncian a las medidas de ahorro energético no por estar en contra, sino porque temen ser tomados por ecologistas estrafalarios. Otros que abogan por el ahorro lo hacen como un gesto simbólico, no porque crean en su trascendencia real. Por medio de encuestas, los investigadores de la plataforma de divulgación Yale Climate Connections han definido lo que ellos llaman las Seis Américas en cuanto a la actitud, que van desde la alarma a la indiferencia. La gente situada en ambos extremos es la que tiene más probabilidades de adoptar medidas de ahorro. Los motivos del colectivo seriamente preocupado son los previsibles. Ahora bien, los indiferentes tal vez no vean ninguna amenaza en el cambio climático, pero se han dado cuenta de que reducir el consumo energético supone un ahorro de dinero.

Conocer la ciencia no significa que se esté de acuerdo con ella. El estudio de Yale es uno de los varios que han hallado una acusada polarización entre grupos políticos de signo contrario cuando sus partidarios adquirieron conocimientos sobre algunas cuestiones vinculadas con la ciencia. En la investigación que estoy llevando a cabo junto con Caitlin Drummond, posdoctoranda en el Instituto Erb de la Universidad de Michigan, hemos descubierto algunas pistas que merecerían tenerse en cuenta en este fenómeno. Una posible explicación es que los más informados tienen más probabilidad de conocer la postura de su grupo político sobre un tema y alinearse con ella. Otra posibilidad es que se sientan más seguros argumentando las cuestiones. Una tercera afín es que es más probable que vean y aprovechen la oportunidad de pronunciarse que aquellos que no saben demasiado al respecto.

CUANDO LAS DECISIONES IMPORTAN, Y MUCHO

Queda mucho por aprender en el campo de la teoría de la decisión, pero el mensaje general sobre la gestión de las situaciones inciertas de gran trascendencia es optimista. Cuando los científicos comunican mal, con frecuencia significa que son víctimas de la inclinación natural a dar por sentado que se los entiende. Cuando la gente lega se equivoca, a menudo es consecuencia de su dependencia de esquemas mentales que les han servido en otras situaciones, pero que no son apropiados en las circunstancias actuales. Cuando la gente disiente sobre qué decisiones tomar, suele ser porque tienen objetivos diferentes más que datos diferentes.

En cada caso, la investigación señala caminos destinados a facilitar el entendimiento mutuo y consigo mismo. Los estudios de comunicación ayudan a los científicos a crear mensajes más inteligibles. Y la ciencia de la decisión puede ayudar a la ciudadanía a refinar sus esquemas mentales para interpretar un fenómeno nuevo. Reduciendo la mala comunicación y señalando los verdaderos desacuerdos, los investigadores de la decisión contribuirán a reducir los conflictos sociales y a que la sociedad afronte los más asequibles para todos. IyC

ERIK McGREGOR, GETTY IMAGES

PARA SABER MÁS

Risk: A very short introduction. B. Fischhoff and J. Kadvany. Oxford University Press, 2011.

The science of science communication. Special issue. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 111, suplemento 3, 20 de agosto de 2013. **http://www.pnas.org/content/110/Supplement_3**

The science of science communication II. Special issue. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 111, suplemento 4, 16 de septiembre de 2014. **http://www.pnas.org/content/111/Supplement_4**

The science of science communication III: Inspiring novel collaborations and building capacity: proceedings of a colloquium. National Academy of Sciences. National Academies Press, 2018.

EN NUESTRO ARCHIVO

Un cálculo del riesgo. Gary Stix en *IyC*, julio de 1998.

Cómo afrontar un destino incierto. M. Granger Morgan en *IyC*, enero de 2011.

Riesgos en alza. Fred Guterl en *IyC*, abril de 2013.

Ciencia abierta a la ciudadanía. Brooke Borel en *IyC*, diciembre de 2017.

CIENCIA DE DATOS

COMUNICAR LA INCERTIDUMBRE

CÓMO EXPLICAR LAS PROBABILIDADES MEDIANTE DIVERSAS TÉCNICAS DE VISUALIZACIÓN DE DATOS

Jessica Hullman

[redacted]



Jessica Hullman es profesora de informática y periodismo en la Universidad Noroccidental de Estados Unidos. Su grupo desarrolla técnicas de visualización de datos orientadas a comunicar con claridad la noción de incertidumbre.

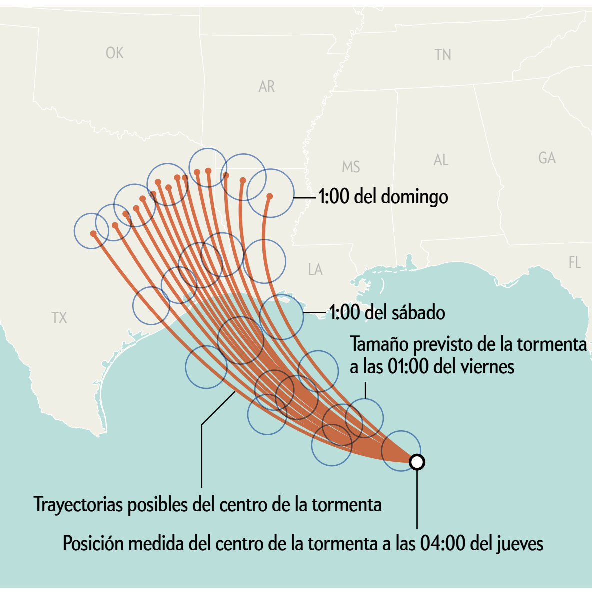
Para mostrar la evolución futura de un huracán, los meteorólogos suelen elaborar mapas con un «cono de incertidumbre». Este parte de un punto (la posición del centro de la tormenta en ese instante) y, conforme se ensancha, abarca aquellas zonas por las que el ciclón podría pasar durante los días siguientes. La línea central corresponde a la trayectoria más probable, mientras que en los bordes dicha probabilidad es menor. Sin embargo, hay un problema: mucha gente confunde el cono con la forma de la futura tormenta.

El malentendido podría evitarse si, en lugar de un cono, se representasen varias de las trayectorias posibles. No obstante, eso también puede llevar a engaño: hay quien cree que la probabilidad de sufrir daños es mayor por donde pasan las líneas y menor en el espacio situado entre ellas.

La incertidumbre impregna los datos que usan los científicos para comunicar sus hallazgos al público. Y las representaciones visuales pueden clarificar la incertidumbre, pero también oscurecerla. Numerosos estudios sobre el razonamiento humano indican que, a la hora de emitir juicios sobre probabilidades, tendemos a subestimar la incertidumbre. En una sociedad cada vez más orientada hacia los datos, los diseñadores gráficos se esfuerzan por plasmar con acierto dicha noción.

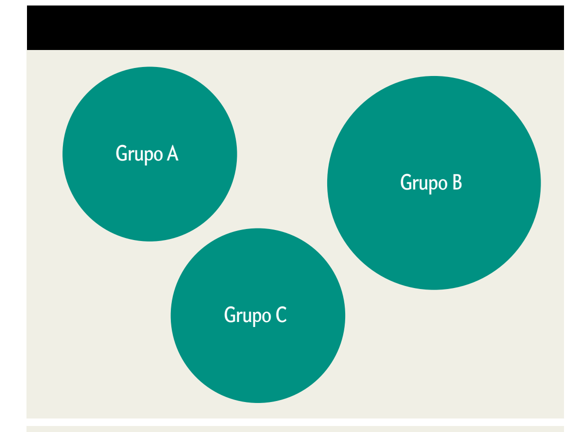
A continuación presentamos varias maneras de visualizar las probabilidades y la incertidumbre, ordenadas aproximadamente de menor a mayor grado de efectividad. Una comparación de los distintos métodos ayuda a entender mejor tanto los datos en sí como la incertidumbre asociada. IyC

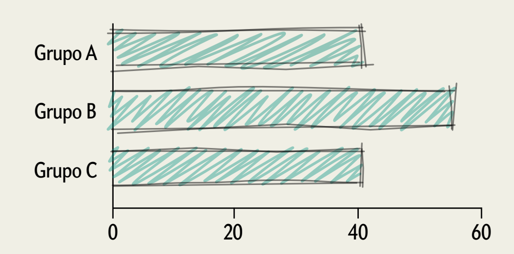




UN CONO DE INCERTIDUMBRE (*izquierda*) muestra los lugares hacia donde podría dirigirse un huracán según un conjunto de predicciones meteorológicas. Otra posibilidad consiste en mostrar la trayectoria asociada a cada predicción (*derecha*). Ambas representaciones tienen ventajas e inconvenientes, pero la segunda refleja mejor la dificultad de predecir una trayectoria.

FUENTES: CENTRO NACIONAL DE HURACANES DE EE.UU. (*cono de incertidumbre*); «VISUALIZING UNCERTAIN TROPICAL CYCLONE PREDICTIONS USING REPRESENTATIVE SAMPLES FROM ENSEMBLES OF FORECAST TRACKS», LE LIU *ET AL.* EN *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, VOL. 25, AGOSTO DE 2018 (*trayectorias múltiples*); TIFFANY FARRANT-GONZALEZ (*mapas*)





SIN INCERTIDUMBRE

La peor visualización es la que no muestra la incertidumbre en absoluto. A veces, los diseñadores intentan compensar la falta de una incertidumbre especificada en los datos con una técnica que implique cierto grado de imprecisión. Por ejemplo, pueden elaborarse gráficas que empleen una variable visual difícil de concretar por el lector, como un círculo (*arriba*). Sin embargo, este método hace la interpretación más proclive al error. Otra alternativa es usar un diseño que simule un trazado hecho a mano (*abajo*). Ambas opciones son arriesgadas.

VENTAJAS

- Si los lectores perciben que una visualización resulta difícil de cuantificar, tal vez sean más cautelosos a la hora de emplearla para tomar decisiones.

INCONVENIENTES

- Es fácil que el lector no se percate de que la representación se ha concebido para transmitir vaguedad.
- Aun si los lectores entienden que la visualización se ha escogido para dar a entender que existe una imprecisión, es imposible deducir la magnitud de la incertidumbre.

INTERVALOS

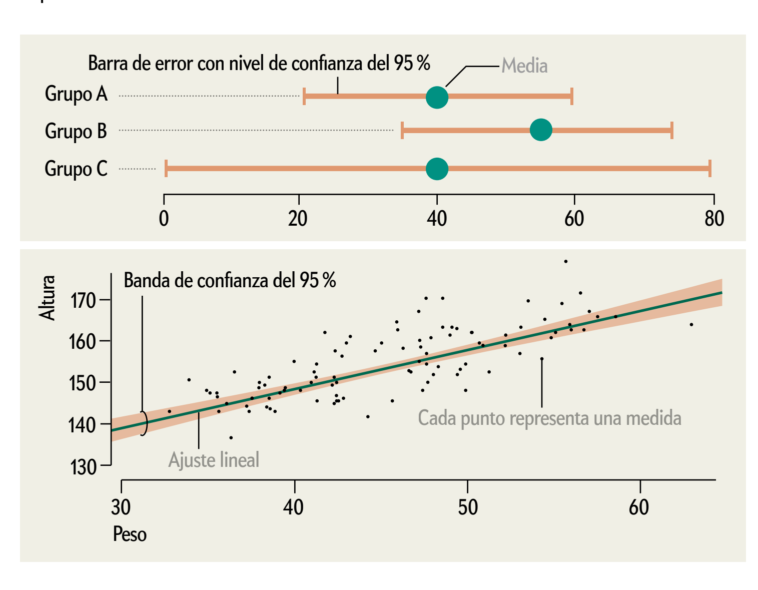
Probablemente sean las representaciones más habituales de la incertidumbre. Las barras de error (*arriba*) y las bandas de confianza (*abajo*) abundan. Pero, aunque parecen claras y precisas, son muy fáciles de malinterpretar, incluso por parte de los propios científicos.

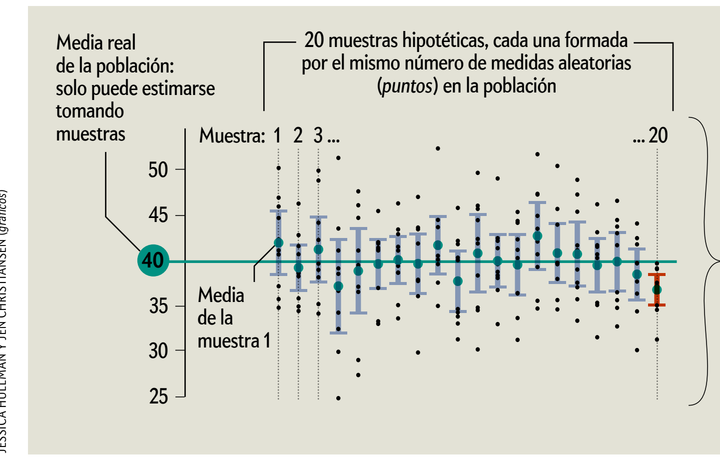
VENTAJAS

- Ampliamente conocidos como representación de la incertidumbre.
- Ofrecen un formato simple para expresar un abanico de valores posibles.
- El intervalo escogido puede representar distintas propiedades del mismo conjunto de datos. Por ejemplo, si consideramos la dispersión de valores de una población, los intervalos basados en la desviación estándar son especialmente útiles. Cuando se trata del abanico de valores de un parámetro estadístico, como la media, el error estándar resulta más apropiado.

INCONVENIENTES

- Son ambiguos: un intervalo puede representar la desviación estándar, el error estándar u otras cantidades, cada una de las cuales tiene un significado específico.
- Es posible interpretar los extremos de las barras de error como los valores más alto y más bajo obtenidos en las medidas, en lugar de como estimaciones de la incertidumbre.
- Con frecuencia, las barras de error inducen un sesgo dentro de la propia barra. En un gráfico como el de abajo, algunos lectores interpretan que los valores de las barras situados a la derecha de los puntos son más probables que los ubicados a la izquierda.
- Es fácil fijarse en la tendencia central y pasar por alto las regiones de incertidumbre, lo que puede conducir a una incorrecta toma de decisiones.





En promedio, y aun realizando un cálculo perfecto, 1 de cada 20 intervalos de confianza del 95 % no contendrá la verdadera media de la población.

¿QUÉ ES UN INTERVALO DE CONFIANZA?

Una manera habitual de interpretar un intervalo de confianza del 95 por ciento es pensar que hay un 95 por ciento de probabilidades de que el verdadero valor esté comprendido en dicho intervalo. Sin embargo, el concepto hace referencia al porcentaje de intervalos de confianza que incluirían el valor real si extrajésemos un número infinito de muestras aleatorias del mismo tamaño y, en cada caso, generásemos un intervalo de confianza del 95 por ciento. Aunque esta confusión no suele afectar drásticamente a la toma de decisiones, el hecho de que incluso los científicos cometan tales errores refleja hasta qué punto la visualización de la incertidumbre puede ser difícil de interpretar.

JESSICA HULLMAN Y JEN CHRISTIANSEN (*gráficos*)

DENSIDADES DE PROBABILIDAD

El grado de incertidumbre puede plasmarse visualmente. Un gráfico de gradientes (*arriba*) puede usar un tono oscuro en el centro (probabilidad elevada) e ir rebajándolo hacia los extremos (probabilidad baja). En un diagrama de violín (*abajo*), las bandas más anchas indican una probabilidad mayor. Plasmar la densidad de probabilidad en una variable visual funciona mejor que usar intervalos (*página anterior*), aunque su eficacia depende del grado en que los lectores logren percibir las diferencias de sombreado, altura o de la variable en cuestión.

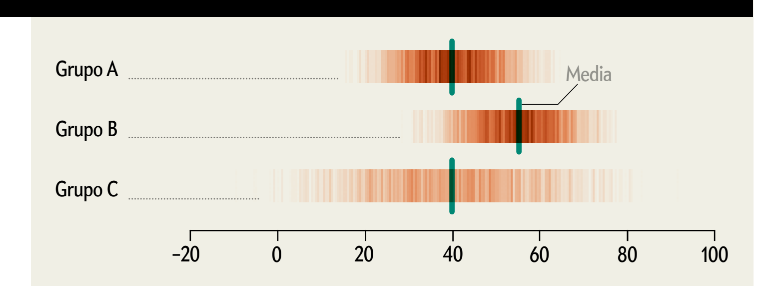


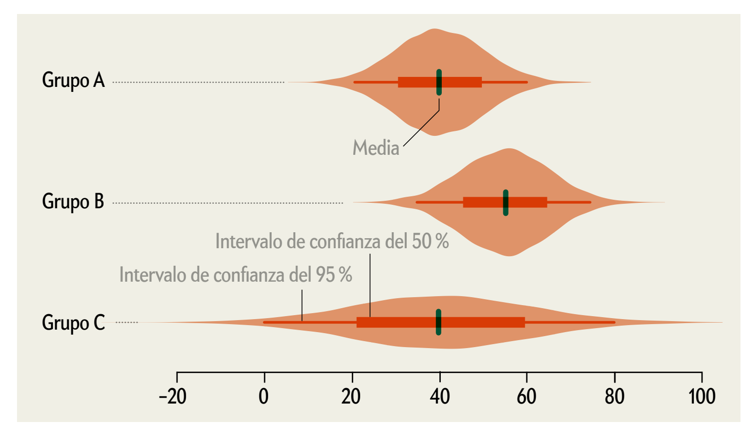
VENTAJAS

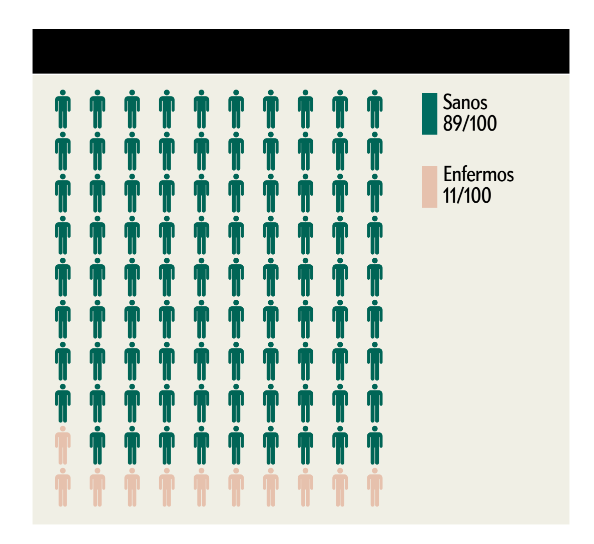
- A menudo se ajustan a la intuición: un sombreado oscuro o un trazo nítido transmiten mayor certidumbre; las sombras claras y los trazos difusos comunican lo contrario.
- Evitan sesgos comunes, como los generados por los intervalos.

INCONVENIENTES

- Es posible que el lector no asocie densidad con probabilidad.
- A menudo se equipara la región más destacada (la más oscura o la más ancha) con los propios datos y se identifica erróneamente el resto (la zona más clara o estrecha) con la incertidumbre.
- Las estimaciones pueden estar sesgadas hacia los puntos más oscuros o más altos.
- Puede ser difícil inferir valores específicos de probabilidad.







ORDENACIONES DE ICONOS

La visualización de una probabilidad, como 30 por ciento, en términos de unidades enteras sencillas («tres de cada diez») puede ayudar a transmitir mejor el concepto y a que la gente lo use de la manera adecuada, ya que muchas personas lo asociarán a experiencias cotidianas.

VENTAJAS

- Esta técnica es más autoexplicativa que otras, ya que el lector deduce con facilidad que la probabilidad está asociada al número de veces que se repite un determinado icono.
- Si se emplea un número reducido de iconos, es más sencillo efectuar estimaciones rápidas, ya que nuestro sistema visual reconoce pequeñas cantidades de manera inmediata sin necesidad de contar.

INCONVENIENTES

- Estos diagramas solo muestran una única probabilidad.

DISTRIBUCIONES DISCRETAS

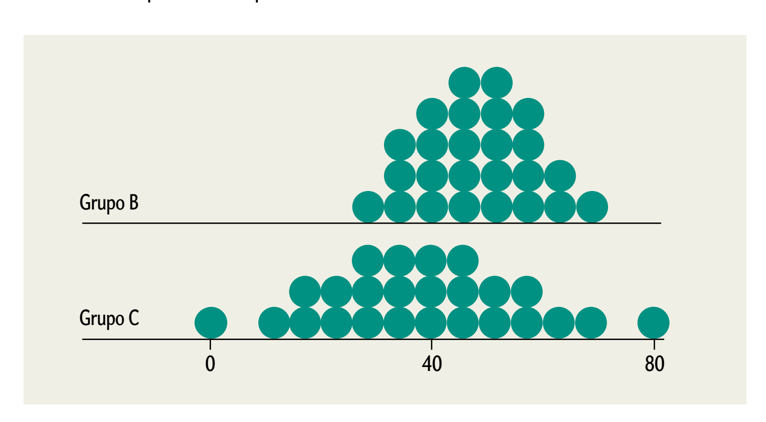
Es posible representar una distribución de probabilidad en un formato discreto. Un ejemplo lo proporcionan los diagramas de puntos basados en cuantiles (*quantile dot plots*). Estos parten de una muestra representativa asociada a los cuantiles de la distribución (cuartiles, deciles, percentiles, etcétera) y distribuyen sus elementos (*puntos verdes*) en columnas, de manera que la altura de cada columna refleje la probabilidad asociada a cada valor. En los ejemplos inferiores se ha aproximado la probabilidad total mediante una muestra formada por 25 elementos.

VENTAJAS

- A menudo, el número de puntos (el tamaño de la muestra) puede escogerse de tal modo que haya los suficientes para reflejar la forma de la distribución, pero no tantos que al lector le resulte difícil identificarlos y comparar las distintas probabilidades.

INCONVENIENTES

- Representar una gran cantidad de puntos puede oscurecer el resultado e inducir a error en la estimación de las probabilidades.
- Aproximar la distribución mediante un número reducido de puntos siempre introduce inexactitudes, sobre todo si la distribución subyacente se encuentra fuertemente distorsionada por valores atípicos.



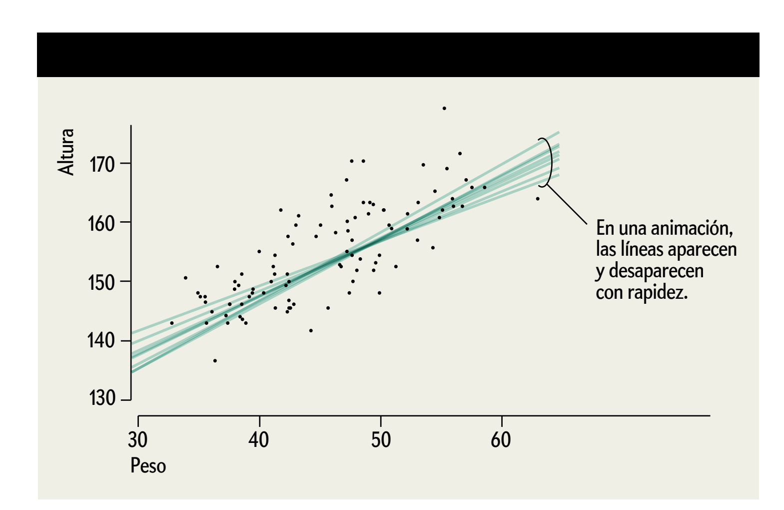
JESSICA HULLMAN Y JEN CHRISTIANSEN (*gráficos*)

UNA TEMBLOROSA AGUJA ELECTORAL

En ocasiones, la visualización de la incertidumbre puede ser controvertida. En la noche de las elecciones presidenciales estadounidenses de 2016, el *New York Times* introdujo un indicador en su página web para mostrar las predicciones de los resultados. Un continuo de colores conformaba el fondo, desde una victoria rotunda de Hillary Clinton (*izquierda*) hasta una de Donald Trump (*derecha*). El modelo que controlaba el medidor se actualizaba varias veces por minuto a medida que se conocían nuevos resultados. Una aguja animada temblaba rápidamente adelante y atrás, con una frecuencia incluso superior a la de actualización del modelo.

El indicador móvil suscitó el nerviosismo de muchos espectadores. Las visualizaciones de la incertidumbre deberían provocar una inquietud proporcional a la incertidumbre de los datos. Pero, tras décadas de visualizaciones estáticas que permitían ignorar la incertidumbre, el uso de un gráfico que provocaba una reacción visceral sembró el desconcierto.

Probabilidades de victoria electoral



MUESTRAS ANIMADAS EN EL TIEMPO

Representar un conjunto de resultados a modo de fotogramas en una animación hace más difícil ignorar la incertidumbre. La técnica, conocida como gráfico de resultados hipotéticos, puede emplearse en visualizaciones simples y complejas. Los estudios de percepción revelan que las personas somos sorprendentemente hábiles a la hora de inferir la distribución de los datos a partir de una animación: no hace falta contar el número de veces que se repite un evento para estimar su probabilidad. La velocidad es importante. Debe ser lo bastante rápida para que el observador vea un número suficiente de muestras, pero no tanto que impida la percepción consciente.

VENTAJAS

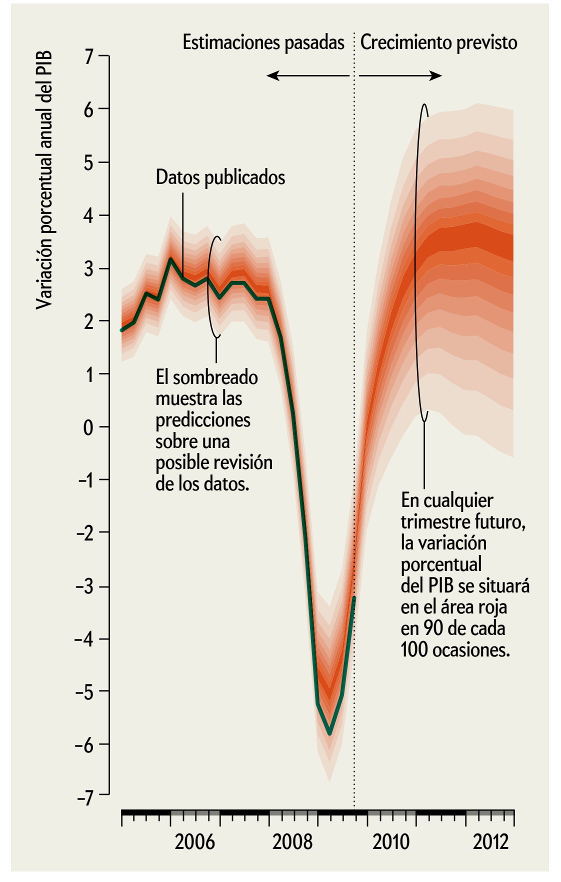
- El sistema visual humano permite estimar la probabilidad con bastante exactitud sin necesidad de contar los elementos.
- Puede aplicarse a diversos tipos de datos y estilos de visualización.
- La animación posibilita estimar probabilidades en casos con múltiples variables, algo difícil de lograr con gráficos estáticos.

INCONVENIENTES

- El muestreo introduce imprecisión, sobre todo si la distribución se encuentra muy sesgada por valores atípicos.
- No se puede asegurar a cuántas muestras individuales prestará atención una persona.
- Requiere una visualización animada, algo difícil de conseguir en algunos formatos, como los artículos científicos.

TÉCNICAS HÍBRIDAS

Es posible crear visualizaciones efectivas de la incertidumbre combinando varias técnicas. Un ejemplo es el gráfico en abanico, que popularizó el Banco de Inglaterra (*imagen*). Este describe los datos hasta el momento presente (*a la izquierda de la línea de puntos*) así como las predicciones futuras (*a la derecha*). La incertidumbre pasada es un componente clave a la hora de evaluar la futura. El gráfico representa las probabilidades altas (*tonos oscuros*) y bajas (*tonos claros*) con una serie de bandas que corresponden a distintos niveles de confianza entre los que es posible elegir. La información se plasma en la posición de los márgenes de las bandas y en el contraste entre los tonos claros y oscuros. Los últimos programas para gráficos y modelos estadísticos facilitan la combinación de distintos métodos de visualización de la incertidumbre.



PARA SABER MÁS

Picturing the uncertain world: How to understand, communicate, and control uncertainty through graphical display. Harold Wainer. Princeton University Press, 2009.

Visualizing uncertainty. Claus O. Wilke en *Fundamentals of data visualization*. O'Reilly Media, 2019.

Uncertainty + visualization, explained. Jessica Hullman y Matthew Kay en **https://medium.com/multiple-views-visualization-research-explained/uncertainty-visualization-explained-67e7a73f031b**

FUENTE: *INFLATION REPORT*; BANCO DE INGLATERRA, FEBRERO DE 2010 (*gráfico PIB*); TIFFANY FARRANT-GONZALEZ (*indicador de resultados electorales*)



PSICOLOGÍA SOCIAL

IDENTIDAD Y POPULISMO

LA INCERTIDUMBRE MUNDIAL AMENAZA NUESTRA IDENTIDAD PERSONAL. PARA SOBRELLEVARLO LA GENTE ABRAZA EL POPULISMO

Michael A. Hogg

[redacted]

Las sociedades humanas viven un proceso de reorganización constante que causa profundas alteraciones en la vida social. La revolución industrial de finales del siglo XVIII y principios del XIX provocó la fragmentación de las comunidades debido a la movilidad laboral; la decadencia de los imperios a principios del siglo XX reconfiguró las naciones y las identidades nacionales; y la Gran Depresión en la década de 1930 devastó la seguridad económica y las perspectivas de futuro de la población. Pero quizás ahora estamos viviendo un momento de incertidumbre sin precedentes. Los inicios del siglo XXI se caracterizan por cambios rápidos y abrumadores: la globalización, la inmigración, la revolución tecnológica, el acceso ilimitado a la información, la volatilidad sociopolítica, la automatización del trabajo y el cambio climático.



Michael A. Hogg es catedrático de psicología social en la Universidad de Posgrado de Claremont, profesor honorífico de la Universidad de Kent, y expresidente de la Sociedad de Psicología Social Experimental. También es redactor jefe de la revista *Group Processes & Intergroup Relations* y miembro de numerosas sociedades, entre ellas la Asociación para la Ciencia Psicológica.

Las personas necesitan abrigar un sólido sentimiento de identidad y de su lugar en el mundo, y para muchos el ritmo y la magnitud de estos cambios pueden resultar alienantes. Ello se debe a que la percepción de uno mismo es un principio organizador fundamental para nuestras propias impresiones, sentimientos, actitudes y comportamientos. Suele estar arraigada en las relaciones interpersonales cercanas (amigos, familia, compañeros) y en los distintos grupos sociales y categorías a los que pertenecemos y con los que nos identificamos (nacionalidad, religión, etnia, profesión). Nos permite predecir con cierta seguridad cómo nos van a ver y tratar los demás.

Supongamos que tuviéramos que gestionar las vicisitudes de la vida diaria y las relaciones con los demás pero con una sensación añadida de inseguridad perma-

WESLEY ALLSBROOK

nente acerca de quiénes somos, cómo debemos comportarnos y cómo van a desarrollarse las interacciones sociales. Nos sentiremos desorientados, ansiosos, estresados, mentalmente agotados y faltos de voluntad y control. Esta incertidumbre personal puede, en verdad, experimentarse como un desafío estimulante si tenemos la sensación de poseer los recursos materiales, sociales y psicológicos para resolverlo. Sin embargo, si sentimos que carecemos de tales recursos, puede experimentarse como una dificultad altamente aversiva para nosotros y para nuestro lugar en el mundo.

En general, las personas se ven impelidas a mitigar su sensación de incertidumbre. Que se sientan cada vez más inseguras sobre quiénes son y cómo encajan en este entorno tan cambiante, puede ser —y, de hecho, ha resultado ser— un verdadero problema para la sociedad. La gente está reconociendo y apoyando a líderes autoritarios y abrazando ideologías y visiones del mundo que promueven y celebran el mito de un pasado glorioso. Temerosos de los que son diferentes a ellos, los individuos buscan homogeneidad y se dejan embriagar por la libertad de acceder tan solo a información que confirma quiénes son o quiénes les gustaría ser. Como resultado, aumenta el populismo en el mundo.

LA BÚSQUEDA DE IDENTIDAD SOCIAL

Los grupos sociales constituyen una poderosa fuente de identidad. Pueden resultar muy eficaces para atenuar la incertidumbre personal; en particular si son distintivos y sus miembros comparten un sentimiento de interdependencia.

Los grupos desempeñan un papel fundamental a la hora de afianzar quienes somos, ya que corresponden a categorías sociales, y las investigaciones demuestran que la categorización social es omnipresente. Clasificamos a los demás como miembros de nuestro grupo o ajenos a él. Asignamos los atributos y la posición social del grupo a los demás, con lo que construimos un mundo subjetivo donde los grupos son internamente homogéneos y las diferencias entre ellos se exageran y polarizan de una manera etnocéntrica. Y como también nos clasificamos a nosotros mismos, internalizamos atributos compartidos que definen al grupo de pertenencia como parte de lo que somos. Para desarrollar la identidad social, psicológicamente nos rodeamos de quienes son como nosotros.

Este proceso psicológico que hace que la gente se identifique con un grupo y se comporte como miembro de él se denomina categorización social. Afianza y cristaliza nuestra autopercepción asignándonos una identidad que establece cómo debemos comportarnos, qué debemos pensar y cómo debemos entender el mundo. También hace predecibles las interrelaciones, nos permite anticipar cómo nos tratará la gente y qué pensará de nosotros, y proporciona confirmación de identidad consensuada: las personas como nosotros (los miembros de nuestro grupo) validan quiénes somos.

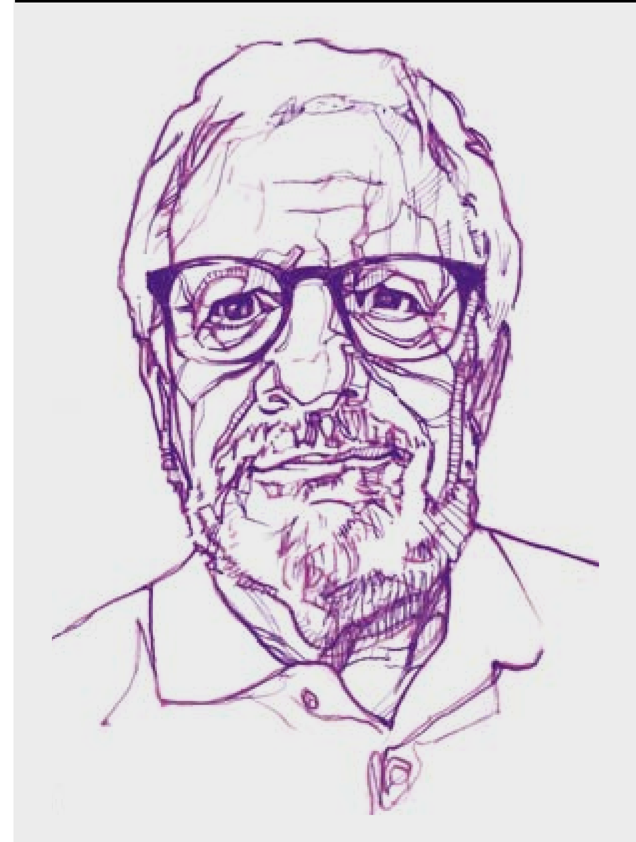
EN SÍNTESIS

Los cambios rápidos y abrumadores pueden amenazar nuestro sentimiento de identidad y autopercepción.

La incertidumbre personal incita a buscar una identificación más firme con el grupo y a elegir líderes que pueden fomentar el sesgo de confirmación y el populismo.

Ambos factores se ven propiciados y agudizados por la disponibilidad de información ilimitada y el acceso a grupos extremistas en Internet.

LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN NEUROCIENCIA



BUD COOK

La ciencia no busca la verdad, como muchos creen. Su verdadero propósito consiste en formular mejores preguntas. Realizamos experimentos porque ignoramos algo y queremos saber más, y a veces esos experimentos fallan. Pero lo que aprendemos de la ignorancia y el fracaso plantea nuevas preguntas y nuevas incertidumbres. Y son mejores preguntas y mejores incertidumbres que dan lugar a nuevos experimentos. Y así sucesivamente.

Fijémonos en mi campo, la neurobiología. Durante unos cincuenta años la pregunta fundamental sobre el sistema sensorial ha sido: ¿qué información se envía al cerebro? Por ejemplo, ¿qué le dicen nuestros ojos al cerebro? Ahora estudiamos esta idea pero a la inversa: el cerebro en realidad hace preguntas al sistema sensorial. De este modo, puede que el cerebro no esté tan solo elaborando una enorme cantidad de información visual procedente del ojo; al contrario, le pide al ojo que busque información específica.

En ciencia siempre hay cabos sueltos y pequeños callejones sin salida. Cuando podríamos creer que todo está resuelto, siempre surge algo nuevo e inesperado. Pero la incertidumbre resulta valiosa. No debería crear ansiedad. Supone una oportunidad.

Stuart Firestein, *profesor del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Columbia, en declaraciones a Brooke Borel*

Esta dinámica de identidad social e incertidumbre personal no es negativa en sí misma. Permite la organización colectiva que constituye la esencia de la sociedad humana. Los logros que requieren de la coordinación de muchos al servicio de objetivos comunes no están al alcance de los individuos por separado. Con todo, esta dinámica se convierte en un problema cuando el sentimiento de incertidumbre personal y de amenaza a la identidad es intenso, duradero y universal. La gente experimenta una imperiosa necesidad de identidad; y no solo cualquier identidad, sino una que esté dotada para resolver esos sentimientos desconcertantes e incluso aterradores.

FORMAR PARTE DE UN GRUPO

Algunas características de los grupos y las identidades sociales son especialmente idóneas para mitigar la incertidumbre personal. Lo más importante es que estén polarizados entre sí y tengan fronteras inequívocas que distingan entre quienes pertenezcan y quienes no pertenezcan a ellos. Deben presentar una estructura interna clara, en general jerárquica. Tales características dan cohesión y homogeneidad al grupo, sus miembros son interdependientes y unánimes en cuanto a compartir un destino común.

La diversidad y la discrepancia restituyen la incertidumbre y, por tanto, se evitan. Cuando aparecen, los individuos y el grupo al completo reaccionan con decisión y dureza creando una atmósfera de desconfianza que prepara el terreno para el acoso a los supuestos descarriados. Ello brinda la oportunidad de intensificar las antipatías personales y las venganzas con el pretexto de salvaguardar la cohesión.

La total aceptación y confianza entre los integrantes reviste importancia no solo para el grupo, sino también para los propios miembros. Al fin y al cabo, necesitan con desesperación ser incluidos para validar su identidad y así reducir su incertidumbre. Los miembros potenciales y los nuevos, así como aquellos que sospechan que se les percibe con desconfianza o que no son completamente aceptados, harán cualquier cosa en nombre del grupo para demostrar sus credenciales de membresía y su lealtad. Estos individuos son vulnerables al fanatismo y la radicalización. Los neonazis y los supremacistas blancos que participan públicamente en actos violentos de terrorismo y odio racial son un ejemplo de este extremismo.

La identidad social que encarnan estos grupos también debe ser poco compleja para que pueda reconocerse como «la verdad». Se huye de sutilezas o matices, ya que alientan la incertidumbre. La posición del grupo debe ser clara, porque permite que sus integrantes sepan cómo pensar y sentir, y también cómo comportarse. Estas identidades se afianzan con una fuerte ideología que califica a los grupos ajenos de detestables y carentes de valores morales, y los demoniza y les adjudica el papel de «enemigos». Las teorías de la conspiración prosperan en este ambiente, porque establecen que los grupos ajenos son agentes de la victimización histórica del grupo propio.

EL ORIGEN DEL POPULISMO

Si la incertidumbre incita a la persona a identificarse con un grupo y a internalizar esa identidad como algo esencial para saber quién es, tiene que asegurarse de conocer con exactitud cuál es la identidad de ese grupo. Cuando necesitamos lo que consideramos fuentes de información de identidad seguras y fiables, ¿dónde acudimos? En primera instancia nos fijamos en aquellos que creemos que lideran el grupo de forma consensuada; suele ser una persona cuya posición de liderazgo también está formalizada.

Las últimas investigaciones sobre la influencia de la incertidumbre de las personas en el tipo de líderes que prefieren dibuja un panorama inquietante. La gente tan solo necesita que le digan qué hacer e, idealmente, que les dirija alguien a quien consideran «uno de nosotros». Asimismo, se ha demostrado que quienes padecen incertidumbre se inclinan por líderes seguros y autoritarios, incluso autócratas, que emitan un mensaje sencillo, aseverativo y en blanco y negro sobre «quiénes somos», y no un mensaje identitario más abierto, matizado y medido.

Quizá lo más preocupante es que la incertidumbre personal puede favorecer y ofrecer apoyo a líderes que poseen los atributos de la denominada tríada oscura: maquiavelismo, narcisismo y psicopatía [*véase* «La tríada oscura de la personalidad», por Frieder Wolfsberger; Mente y Cerebro n.º 75, 2015]. La incertidumbre personal, en otras palabras, parece alimentar el populismo.

Otra fuente de información de identidad es «la gente como nosotros», la que sentimos que encarna la identidad del grupo y ve el mundo como nosotros. Pueden ser amigos o cualquier persona con la que interactuamos cara a cara; o bien fuentes de información como canales de radio y televisión, especialmente los programas de noticias que solemos seguir. Sin embargo, hoy en día las fuentes predominantes son nodos de información e influencia en Internet, como sitios web, redes sociales, noticias de Twitter, pódcast, etcétera.

La Red es un lugar ideal para mitigar el desasosiego que provoca la incertidumbre personal porque proporciona acceso sin interrupción a información ilimitada que, con frecuencia, seleccionan los propios individuos y, de manera inadvertida, los algoritmos. De este modo, la gente solo accede a información que confirma su identidad. El sesgo de confirmación, una conducta humana muy poderosa y universal que se intensifica aún más en tiempos de incertidumbre, separa los universos de la información y la identidad que fragmentan y polarizan la sociedad. La conexión en línea permite dar con grupos que no se encontrarían con facilidad en el entorno físico.

Internet fortalece aún más el sesgo de confirmación cuando hay incertidumbre, porque la gente necesita rodearse de quienes piensan igual para que se confirmen continuamente sus identidades y sus visiones del mundo. Los contornos de la «verdad», entonces, se ajustan a estos universos de identidad social autosuficientes. En este escenario no hay verdades absolutas [objetivas] ni motivación para explorar e incorporar otros puntos de vista, ya que estos debilitarían la capacidad de la identidad social para evitar la incertidumbre personal. Esta dinámica ayuda a explicar por qué la gente vive cada vez más en «cajas de resonancia» homogéneas que confirman su identidad. IyC

PARA SABER MÁS

Uncertainty-identity theory. Michael A. Hogg en *Handbook of theories of social psychology*, vol. 2. Compilado por Paul A. M. Van Lange, Arie W. Kruglanski y E. Tory Higgins. Publicaciones Sage, 2012.

From uncertainty to extremism: Social categorization and identity processes. Michael A. Hogg en *Current Directions in Psychological Science*, vol. 23, n.º 5, págs. 338-342, octubre de 2014.

EN NUESTRO ARCHIVO

Sesgos de juicio. Chaehan So en *MyC* n.º 71, 2015.

El tribalismo de la verdad. Mathew Fisher et al. en *IyC*, mayo de 2018.

INTERNET

CAOS EN LAS REDES SOCIALES

NUESTRA INCLINACIÓN A COMPARTIR CONTENIDO DE MANERA IRREFLEXIVA SE EXPLOTA PARA DIFUNDIR DESINFORMACIÓN

Claire Wardle



Claire Wardle es directora de la organización sin ánimo de lucro First Draft, donde investiga la desinformación y diseña proyectos para combatirla. Anteriormente trabajó en el Centro Shorenstein de Medios y Políticas Públicas de Harvard.

Como profesional dedicada a estudiar el impacto de la desinformación en la sociedad, a menudo me gustaría que los jóvenes emprendedores de Silicon Valley que nos brindaron los medios para comunicarnos a alta velocidad se hubieran visto obligados, antes de comercializarlos, a usarlos en un escenario como el del 11 de septiembre.

Una de las imágenes más icónicas de aquel día muestra a un numeroso grupo de neoyorquinos mirando hacia arriba. La fuerza de la fotografía radica en que conocemos el horror que estaban presenciando. Es fácil imaginar que, hoy en día, casi todos los presentes tendrían en la mano un teléfono móvil. Algunos estarían grabando lo ocurrido y difundiéndolo en Twitter o Facebook. Alimentados por las redes sociales, los rumores y la desinformación crecerían sin control, al tiempo que proliferarían las publicaciones rebosantes de odio hacia la comunidad musulmana. La especulación y la rabia se verían potenciadas por algoritmos que responderían a un nivel sin precedentes de comparticiones, comentarios y «me gusta». Los agentes extranjeros de desinformación aumentarían la división, azuzando a las distintas comunidades y sembrando el caos. Entretanto, aquellos atrapados en las torres retransmitirían en vivo sus últimos momentos.

Una prueba de estrés realizada en el contexto de los peores momentos de la historia podría haber aclarado lo que los científicos sociales y los propagandistas saben desde hace tiempo: que las personas estamos programadas para responder a detonantes emocionales y compartir afirmaciones erróneas si ello refuerza nuestros prejuicios y creencias. Sin embargo, los diseñadores de las redes sociales creían fervientemente que la conectividad promovería la tolerancia y contendría el odio. No entendieron que la tecnología no cambiaría nuestra esencia, solo proyectaría nuestra manera de ser.

WESLEY ALLSBROOK



TRES TIPOS DE INFORMACIÓN NOCIVA

Para entender la complejidad del ecosistema informativo es necesario definir un lenguaje preciso. La dependencia actual de expresiones simplistas, como «noticias falsas» (*fake news*), oculta importantes diferencias y denigra al periodismo. Además, se centra demasiado en la dicotomía «verdadero o falso», cuando en realidad existe un amplio espectro de informaciones nocivas.

FALSEDAD

INTENCIÓN DAÑINA

Información engañosa
Errores no deliberados, como traducciones, estadísticas, fechas y leyendas inexactas; sátira interpretada en serio.

Desinformación
Contenido inventado o manipulado a propósito. Rumores falsos o teorías de la conspiración.

Información perniciosa
Publicación de información privada que obedece a intereses más corporativos o personales que públicos, como pornografía por venganza. Cambio deliberado del contexto o de la fecha del contenido auténtico.

La información digital de mala calidad lleva rondando desde mediados de los noventa. Pero, en 2016, varios acontecimientos dejaron claro que habían surgido fuerzas más oscuras: la automatización, la microfocalización y la coordinación alimentaron campañas de información concebidas para manipular la opinión pública a gran escala. En Filipinas, los periodistas empezaron a alertar del peligro cuando Rodrigo Duterte, sustentado por una intensa actividad en Facebook, ascendió al poder. A ello siguieron los inesperados resultados del referéndum sobre el *brexit* en junio y, en noviembre, los de las elecciones presidenciales en Estados Unidos. Todo ello promovió una investigación sistemática sobre las formas en que la información se estaba empleando como arma.

Durante los últimos tres años, el debate sobre las causas de la contaminación del ecosistema informativo se ha centrado casi exclusivamente en las acciones tomadas (o no) por las compañías tecnológicas. Sin embargo, esta obsesión se antoja demasiado pobre. Una compleja red de transformaciones sociales provoca que la gente se vuelva más vulnerable a las teorías de la conspiración y a la información engañosa. La confianza en las instituciones disminuye debido a la agitación política y económica, relacionada sobre todo con una brecha salarial cada vez más amplia. Los efectos del cambio climático se acentúan. Las tendencias migratorias mundiales infunden el recelo de que las sociedades cambien de forma irrevocable. El auge de la automatización hace que la gente tema por su trabajo y por su privacidad.

Quienes solo buscan incrementar las tensiones existentes comprenden estas tendencias y crean contenidos para enfurecer o agitar a una audiencia específica que actuará como mensajera. El objetivo consiste en que sean los propios usuarios quienes refuercen y den credibilidad al mensaje original.

Buena parte de tales contenidos se diseña, no para persuadir y encauzar a la gente en una dirección concreta, sino para crear confusión, abrumar y socavar la confianza en las instituciones democráticas, desde el sistema electoral hasta el periodismo. Y aunque se están realizando esfuerzos para preparar al electorado estadounidense de cara a las elecciones de 2020, los engaños y las teorías de la conspiración no nacieron con la última carrera presidencial ni morirán con la próxima. Y cuanto más económicas y accesibles se vuelvan las herramientas desarrolladas para manipular y amplificar contenidos, más fácil resultará convertir a los usuarios en agentes involuntarios de desinformación.

EL CONTEXTO COMO ARMA

En general, el lenguaje con el que se trata el problema de la desinformación es demasiado simplista. Para que la investigación y las actuaciones resulten eficaces se necesitan definiciones claras. Muchas personas emplean la problemática expresión «noticias falsas» (*fake news*). Pero el término, usado también por políticos de todo el mundo para atacar a la prensa, entraña peligro. Investigaciones recientes muestran que las audiencias lo conectan cada vez más con los medios de comunicación tradicionales. Y a menudo se emplea a modo de comodín para describir cosas que no son lo mismo, como mentiras, rumores, fraudes, información inexacta, conspiraciones o propaganda. Además, oculta los matices y la complejidad del fenómeno. Gran parte de los contenidos ni siquiera se disfrazan de noticia: aparecen en forma de meme, vídeo o publicación en Facebook o Instagram.

En febrero de 2017 establecí siete tipos de «trastornos informativos» en un intento de resaltar el espectro de contenidos que se utilizan para contaminar el ecosistema informativo. Estos incluían, entre otros, la sátira, cuya intención no es la de perjudicar pero que puede conducir a equívocos; las noticias inventadas, completamente falsas y diseñadas para causar daño; y el contexto falso, que se da cuando se comparten contenidos ciertos con datos contextuales tergiversados. Ese mismo año, junto con el periodista especializado en tecnología Hossein Derakhshan, publicamos un informe en el que perfilábamos las diferencias entre desinformación (*disinformation*), información engañosa (*misinformation*) e información perniciosa (*malinformation*).

Los proveedores de desinformación (contenido falso creado a propósito para hacer daño) están motivados por tres objetivos: ganar dinero; conseguir influencia política, ya sea en el extranjero o en su propio país; o causar problemas por pura diversión.

Quienes difunden información engañosa (personas que comparten contenidos sin darse cuenta de que son falsos o tramposos) se mueven guiados por factores psicosociales. La gente despliega su identidad en las redes para sentirse conectada con otros. Esos «otros» pueden ser partidos políticos, padres que no

EN SÍNTESIS

Existen diversas clases de desinformación en Internet, desde vídeos manipulados a cuentas falsas, pasando por memes generados para descontextualizar contenidos verídicos.

Una de las principales herramientas que usan quienes difunden narrativas falsas es la inclinación que todos tenemos a compartir contenido que refuerce nuestros prejuicios.

Hasta ahora, la investigación del fenómeno ha pecado de simplista. Diferenciar entre los distintos tipos de información dañina y entender cómo contribuimos a difundirla es clave.

FUENTE: «INFORMATION DISORDER: TOWARD AN INTERDISCIPLINARY FRAMEWORK FOR RESEARCH AND POLICYMAKING», CLAIRE WARDLE Y HOSSEIN DERAKHSHAN, CONSEJO DE EUROPA, OCTUBRE DE 2017; JEN CHRISTIANSEN (*gráfico*)

vacunan a sus hijos, activistas preocupados por el cambio climático o individuos que pertenecen a una determinada religión, raza o grupo étnico. Es importante destacar que la desinformación se convierte en información engañosa cuando la gente la comparte sin percatarse de que es falsa.

Añadimos el término «información perniciosa» para describir aquella que es verídica pero que se comparte con el propósito de causar daño. A modo de ejemplo, sirva el episodio en el que agentes rusos piratearon los correos electrónicos de la campaña de Hillary Clinton y el Comité Nacional Demócrata y filtraron detalles al público para menoscabar su reputación.

Tras estudiar el fenómeno en ocho elecciones de diversos países desde 2016, he observado un cambio en las tácticas y técnicas empleadas. La desinformación más eficaz siempre ha sido la que encierra una dosis de verdad. Y, de hecho, la mayor parte de las publicaciones que se difunden en la actualidad no son falsas, sino engañosas. En lugar de inventar noticias desde cero, se tergiversan contenidos auténticos y se recurre a titulares hiperbólicos. La estrategia implica vincular información real con personas o temas que producen una polarización en la sociedad. Puesto que los perpetradores siempre van un paso (o varios) por delante de la moderación de las plataformas sociales, etiquetan la desinformación emocional como sátira para evitar ser detectados por los procesos de verificación de datos. Se afanan en convertir en arma el contexto, no el contenido. Todo ello deriva en un caos deliberado.

Considérese el vídeo editado de Nancy Pelosi, presidenta de la Cámara de Representantes de EE.UU., que circuló el pasado mes de mayo. Se trataba de un vídeo auténtico, pero fue ralentizado para que pareciera que Pelosi arrastraba las palabras al hablar. Como era de prever, algunas de las personas comenzaron a especular con que Pelosi estaba ebria, lo que propagó el vídeo por las redes sociales. Más tarde, los principales medios de comunicación se hicieron eco de él, lo que contribuyó a que lo viera mucha más gente.

Las investigaciones han revelado que informar a la manera tradicional sobre un contenido engañoso puede aumentar el daño. Nuestro cerebro está programado de tal forma que

LA BÚSQUEDA DE RESPUESTAS EN FÍSICA TEÓRICA

La física es la ciencia más madura y los físicos están obsesionados con la verdad. Ahí fuera se extiende un universo real. El principal milagro reside en que existen leyes subyacentes sencillas, expresadas en el preciso lenguaje de las matemáticas, que nos permiten describirlo. Dicho esto, los físicos no trabajamos con certezas, sino con grados de confianza. Hemos aprendido la lección: a lo largo de la historia, hemos descubierto una y otra vez que algún principio que considerábamos clave para la descripción definitiva de la realidad no era del todo correcto.

Para esclarecer cómo funciona el mundo, formulamos hipótesis y teorías y construimos experimentos para corroborarlas. Históricamente, el método funciona. Por ejemplo, los físicos predijeron la existencia del bosón de Higgs en 1964, construyeron el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) entre finales de los noventa y principios de este siglo, y hallaron la partícula en 2012. Otras veces el experimento no puede llevarse a cabo: o bien es demasiado grande o costoso, o bien no resulta viable con la tecnología disponible. En tales casos, planteamos experimentos mentales basados en la infraestructura de las leyes matemáticas existentes y en los datos experimentales.

He aquí un ejemplo. El concepto de espaciotiempo está aceptado desde principios del siglo XX. Sin embargo, para observarlo a pequeña escala, necesitamos una gran resolución. Esta es la razón por la que el LHC cuenta con un anillo de 27 kilómetros de longitud: para generar la enorme cantidad de energía que hace falta para sondear las diminutas distancias entre partículas. Sin embargo, llega un momento en que esta estrategia falla. Si acumulamos demasiada energía en un espacio lo suficientemente pequeño, acabaremos creando un agujero negro. Nuestro intento de ver lo que ocurre a esas distancias torna imposible dicho objetivo, y la noción de espaciotiempo se desmorona.



BUD COOK

En cualquier instante de la historia hemos logrado entender algunos aspectos del mundo, pero no todos. Cuando un cambio revolucionario aporta más elementos a la imagen global, nos vemos obligados a reestructurar lo que ya sabíamos. Lo antiguo sigue siendo una pieza de la verdad, pero hemos de voltearla y encajarla de otra manera en un rompecabezas mayor.

***Nima Arkani-Hamed,** físico teórico del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, en declaraciones a Brooke Borel*

depende de atajos mentales para juzgar la credibilidad de un suceso. Como resultado, la repetición y la familiaridad constituyen dos de los mecanismos más eficaces para lograr que arraiguen las narrativas falsas, aun cuando el público haya recibido datos contextuales que expliquen por qué un relato no puede ser cierto.

En 2018, la experta en medios de comunicación Whitney Phillips publicó un informe para el Instituto de Investigación sobre Datos y Sociedad, en Nueva York, que exploraba las técnicas que usan quienes difunden narrativas falsas para conseguir que los periodistas cubran esas mismas narrativas. Sin embargo, otro informe reciente del Instituto para el Futuro, un laboratorio de ideas de California, halló que solo el 15 por ciento de los periodistas estadounidenses habían recibido formación para tratar de manera responsable la información engañosa. Ahora, el reto principal para la prensa y los verificadores de datos —o para políticos y perfiles influyentes, cuyos mensajes alcanzan a una gran audiencia— radica en esclarecer y desacreditar mentiras como la del vídeo de Pelosi sin dar oxígeno a la publicación original.

MEMES: UN POZO DE DESINFORMACIÓN

En enero de 2017, el programa radiofónico *This American life*, de la cadena estadounidense NPR, entrevistó a un grupo de personas que habían participado en un acto de celebración de la victoria de Donald Trump denominado DeploraBall. Todas ellas se habían implicado en la defensa del presidente a través de las redes sociales. Sobre el sorprendente ascenso de Trump, uno de los entrevistados explicó: «Fueron los memes los que lo llevaron al poder».

La palabra *meme* fue acuñada en 1976 por el biólogo Richard Dawkins en su libro *El gen egoísta* para describir «una unidad de transmisión cultural o una unidad de imitación»: una idea, conducta o estilo que se extiende con rapidez en una determinada cultura. Ahora, la palabra ha virado para describir cierto tipo de contenido visual con un diseño estético muy particular, que combina imágenes llamativas y coloridas con bloques de texto. Suelen aludir a acontecimientos culturales y mediáticos, si bien dichas referencias no suelen ser explícitas, sino implícitas.

El impacto que causan los memes se debe justamente a esa lógica implícita: un guiño al conocimiento compartido sobre un acontecimiento o una persona. Un entimema es un recurso retórico en el que el argumento se construye en ausencia de alguna premisa o de la conclusión. A menudo, las referencias clave (sucesos recientes, declaraciones de un político, campañas publicitarias o tendencias culturales) no se detallan, lo que obliga al receptor del mensaje a atar cabos. Este esfuerzo adicional constituye una técnica de persuasión, pues produce en el individuo la sensación de estar conectado con otros. Si el meme busca burlarse o provocar indignación a costa de otro colectivo, dichas asociaciones se refuerzan aún más.

La apariencia lúdica de estos formatos visuales ha hecho que ni la clase política ni los investigadores hayan sabido reconocer su influencia como vehículos de desinformación, conspiraciones o mensajes de odio. Sin embargo, la desinformación más eficaz será la que se comparta, y en ese sentido los memes le ganan la batalla al texto. El relato entero se capta de un vistazo; no es necesario abrir ningún enlace. En el libro *Memes to movements*, publicado en 2019, la investigadora An Xiao Mina explora la forma en que los memes están cambiando las protestas sociales y las dinámicas de poder. Sin embargo, los análisis serios de este género escasean.

En Facebook, buena parte de los anuncios y publicaciones creados en Rusia y relacionados con las elecciones estadounidenses de 2016 eran memes. Se centraban en los candidatos polarizadores, como Bernie Sanders, Hillary Clinton o Donald Trump, y en las medidas más controvertidas, como el derecho a portar y usar armas de fuego y la inmigración. La campaña rusa a menudo apuntaba a movimientos raciales, como Black Lives Matter, o grupos religiosos, como los cristianos evangélicos. Cuando se dio a conocer el archivo de Facebook de memes generados en Rusia, algunos de los comentarios giraron en torno a su diseño vulgar. No obstante, las investigaciones han revelado que, cuando la gente tiene miedo, los relatos simplificados, las explicaciones conspirativas y los mensajes que demonizan a los demás se vuelven mucho más eficaces. Un meme bastaba para que la gente pulsara el botón de compartir.

La apariencia lúdica de los memes ha hecho que los investigadores no hayan sabido reconocer su influencia como vehículos de desinformación

Las plataformas tecnológicas como Facebook, Instagram, Twitter y Pinterest desempeñan un papel fundamental a la hora de estimular esta conducta humana, pues están diseñadas para ser activas por naturaleza. Para un usuario de estas redes, pararse a comprobar si un determinado contenido es cierto antes de compartirlo es mucho menos cautivador que reafirmar ante su «audiencia» que adora o aborrece una determinada propuesta. El modelo de negocio de muchas plataformas se vincula a la construcción de una identidad social, ya que eso alienta a los usuarios a pasar más tiempo en ellas.

Hoy los investigadores están desarrollando técnicas de monitorización para seguir el rastro de los memes por las distintas redes sociales. Sin embargo, solo pueden estudiar aquello a lo que pueden acceder y, en no pocos casos, los datos sobre las publicaciones visuales son inexistentes. Además, las técnicas para analizar texto se encuentran mucho más avanzadas que las concebidas para estudiar imágenes o vídeos. Como consecuencia, la investigación sobre posibles soluciones adolece de un sesgo desproporcionado en favor de los tuits de texto o de los artículos en línea.

A pesar de que suele culparse en gran medida a las compañías tecnológicas —y por razones legítimas—, estas también son productos del contexto comercial en el que operan. Ni los ajustes algorítmicos, ni la actualización de las normas de moderación de contenido, ni las multas mejorarán por sí solas nuestro ecosistema informativo en el grado en el que es necesario hacerlo.

SER PARTE DE LA SOLUCIÓN

En una comunidad informativa sana, los individuos aún serían libres de expresar lo que quisieran, pero los algoritmos no amplificarían aquel contenido concebido para engañar, incitar al odio, reforzar el tribalismo o causar daños físicos. Como consecuencia, dicho contenido no sería tendencia en Twitter ni se recomendaría en Youtube, Facebook o Google.

Hasta que se resuelva el problema de la amplificación, es precisamente nuestra inclinación a compartir contenidos de manera irreflexiva lo que se seguirá usando como arma. De ahí que, en un entorno caótico, todos deberíamos averiguar qué puede convertirnos en un vector de desinformación y adquirir técnicas que nos permitan orientarnos en ese mar de comunicación, tanto en Internet como fuera de ella.

PROPAGACIÓN DE LA DESINFORMACIÓN

La difusión de información engañosa o falsa suele ser dinámica. Se inicia cuando alguien diseña un mensaje para causar perjuicio. Después, el agente puede tratar de convertirlo en un producto mediático; por ejemplo, convocando protestas reales destinadas a desencadenar un conflicto público entre grupos. Quienes lo ven no son conscientes de que se trata de contenido falso y lo comparten entre sus comunidades. Ese bucle se retroalimenta.

Creación
Cuando se diseña el mensaje

Producción
Cuando el mensaje se transforma en producto mediático

Distribución
Cuando el producto se transmite o se hace público

Reproducción

En la actualidad, el debate sobre la concienciación del público suele centrarse en la alfabetización mediática, a menudo revestida de un marco paternalista según el cual la gente solo necesita que se le enseñe a consumir información con inteligencia. Sin embargo, los usuarios estarían mejor preparados si desarrollaran «músculos cognitivos» para el escepticismo emocional y recibieran formación para resistir la avalancha de contenidos creados para fomentar prejuicios y miedos básicos [*véase* «Ilusiones y sesgos cognitivos»; por Helena Matute, *en este mismo número*].

A quienes frecuentan sitios web que promueven la interacción social les vendría bien aprender cómo funcionan; en particular, la manera en que los algoritmos «priorizan publicaciones que generen conversaciones e interacciones significativas entre personas», como explicaba en enero de 2018 una actualización de Facebook. También recomendaría que todo el mundo intentara comprar un anuncio en Facebook al menos una vez. El proceso de configurar una campaña ayuda a entender la granularidad de la información disponible. Por ejemplo, es posible seleccionar como público objetivo algo tan específico como mujeres de entre 32 y 42 años, que vivan en un área concreta de Carolina del Norte, con hijos que aún no vayan al colegio, que posean un título universitario, sean judías y seguidoras de Kamala Harris. La compañía incluso ofrece la posibilidad de probar los anuncios en entornos privados. Estos «anuncios oscuros» permiten a las organizaciones dirigir publicaciones a ciertas personas, pero sin que dichas publicaciones formen parte de la página principal de la organización. Esta característica dificulta a investigadores y periodistas indagar a qué grupos van destinados ciertos mensajes, algo especialmente preocupante en época electoral.

Los eventos de Facebook conforman otro medio de manipulación. Uno de los ejemplos más alarmantes de interferencia extranjera en las elecciones estadounidenses fue una protesta en Houston orquestada en su totalidad por troles afincados en Rusia. Habían creado dos páginas de Facebook que parecían genuinamente estadounidenses. Una se llamaba «Corazón de Texas» y creó un evento para el 21 de mayo de 2016 con el lema «Alto a la islamización de Texas». La otra, «Musulmanes Unidos de América», convocó su propio acto con el lema «Salvar el conocimiento islámico», a la misma hora y en el mismo lugar. El resultado fue que dos grupos de personas acudieron a protestar unas contra otras, mientras que los verdaderos creadores del enfrentamiento celebraban haber acrecentado las tensiones existentes en Houston.

Otra táctica popular es la conocida como *astroturfing*, nombre derivado de AstroTurf, una marca de césped artificial. El término se asociaba en un principio con aquellas personas que escribían en Internet críticas falsas de productos o trataban de simular que una comunidad de admiradores era mayor de lo que realmente era. Ahora, las campañas automatizadas recurren a bots o a una compleja coordinación de seguidores apasionados y troles a sueldo para dar la impresión de que una persona o un movimiento político cuenta con un apoyo de base considerable. Al convertir en tendencia ciertas etiquetas en Twitter, esperan que los medios de comunicación profesionales se hagan eco de mensajes concretos y se encarguen de difundirlos.

Comprender la manera en que cada uno de nosotros se expone a este tipo de campañas y cómo participamos involuntariamente en ellas constituye un paso clave para combatirlas. Sin embargo, quizás el aspecto más importante estribe en admitir, de manera sensata y sosegada, que la sociedad es vulnerable a la difusión y amplificación de este tipo de contenido. El miedo solo alimentará las teorías de la conspiración y continuará minando la confianza en las fuentes de información legítimas y en las instituciones democráticas. No hay soluciones permanentes para los relatos nocivos: debemos adaptarnos a la nueva situación. Del mismo modo en que aplicarse protector solar fue un hábito que la sociedad adquirió con el tiempo y que fue ajustando a medida que aparecían datos científicos, el desarrollo de una resistencia a los entornos informativos caóticos debe concebirse en la misma línea. IyC

FUENTE: «INFORMATION DISORDER: TOWARD AN INTERDISCIPLINARY FRAMEWORK FOR RESEARCH AND POLICYMAKING», CLAIRE WARDLE Y HOSSEIN DERAKHSHAN, CONSEJO DE EUROPA, OCTUBRE DE 2017; JEN CHRISTIANSEN (*gráfico*)

PARA SABER MÁS

Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making. Claire Wardle y Hossein Derakhshan. Consejo de Europa, octubre de 2017.

Network propaganda: Manipulation, disinformation, and radicalization in American politics. Yochai Benkler, Robert Faris y Hal Roberts. Oxford University Press, 2018.

Memes to movements: How the world's most viral media is changing social protest and power. An Xiao Mina. Beacon Press, 2019.

Priming and fake news: The effects of elite discourse on evaluations of news media. Emily Van Duyn y Jessica Collier en *Mass Communication and Society*, vol. 22, n.º 1, págs. 29-48, 2019.

EN NUESTRO ARCHIVO

La era de la (des)información. Walter Quattrociocchi en *IyC*, octubre de 2016.

La era de la posverdad. Theodor Schaarschmidt en *MyC*, n.º 87, 2017.

Clics, mentiras y cintas de vídeo. Brooke Borel en *IyC*, diciembre de 2018.

por Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik

Jean-Michel Courty y **Édouard Kierlik** son profesores de física en la Universidad Pierre y Marie Curie de París.



¿Cuánto tarda en cocerse un huevo de avestruz?

Los huevos de estas grandes aves son unas tres veces mayores que los de gallina. ¿Debe durar el triple su cocción?

Para pasar por agua un huevo de gallina, con un diámetro de unos 4,5 centímetros, hay que mantenerlo unos 3 minutos en agua hirviendo. ¿Cuánto debería durar entonces la cocción de un huevo de avestruz, cuyo diámetro asciende a entre 13 y 15 centímetros? ¿Ha de ser ese tiempo proporcional a su tamaño (unas 3 veces más, 9 minutos) o a su peso (unas $3^3 = 27$ veces más, 81 minutos)?

La respuesta no se corresponde con ninguno de esos extremos. De hecho, el tiempo recomendado es de entre 35 y 40 minutos. Pero ¿a qué se debe? Como veremos aquí, esa cifra obedece a la natura-

BRUNO VACARO

EL TIEMPO DE COCCIÓN de un alimento depende de su tamaño. Sin embargo, la relación entre uno y otro no es lineal.



PROPAGACIÓN DEL CALOR EN UNA PATATA

CONOCIDA LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA de esta hortaliza, es posible calcular cómo evoluciona la temperatura en su interior a medida que se cocina en agua hirviendo (100 grados Celsius). Para una patata esférica de 4 centímetros de diámetro y con una temperatura inicial de 20 grados, el cambio en el perfil térmico en función del tiempo se muestra aquí. La línea punteada indica la superficie a 65 grados. Aunque esta avanza lentamente al principio, su progresión se acelera conforme se acerca al centro.

JEAN-MICHEL COURTY Y ÉDOUARD KIERLIK (*Perfiles de temperatura y gráficas*)

leza del fenómeno físico responsable de la cocción (la difusión del calor) y a una de sus características particulares: el tiempo que tarda una variación de temperatura en transmitirse de un lugar a otro aumenta como el cuadrado de la distancia.

Difusión térmica

¿Qué sucede cuando cocemos un huevo? Este alimento se compone de una clara y una yema, cuyas proteínas coagulan a unos 60 grados centígrados. En el caso de un huevo de gallina, dicho valor asciende a 62 y 68 grados, respectivamente. La cocción, por tanto, depende del perfil de temperatura en el seno del huevo y de su evolución temporal. Según el gastrónomo molecular Hervé This, para conseguir el huevo perfecto basta con sumergirlo en agua a 65 grados y esperar el tiempo suficiente para que todo el interior haya alcanzado dicha temperatura. Dado que esta se halla entre la temperatura de coagulación de la clara y la de la yema, la primera solidificará, pero la segunda no.

La misma técnica aplicada a un huevo de avestruz nos obligaría a tenerlo sumergido al baño maría durante varias horas. Ante semejante situación, nos contentaremos con pasarlo por agua hirviendo. Ahora bien, ¿durante cuánto tiempo deberemos hacerlo? Dado que, para un físico, un huevo es un objeto excesivamente complejo (con una cáscara, una clara, una yema, etcétera), comenzaremos por un caso mucho más sencillo: una patata pelada.

Aquí la temperatura que gobierna la cocción es de unos 65 grados, valor para el que los granos de almidón del tubérculo se disgregan y absorben el agua. Experimentalmente, podemos comprobar que hacen falta unos 4 minutos de cocción a 100 grados para que se cocine bien un pequeño cubo de patata. Pasados 16 minutos, sin embargo, el mismo trozo se deshace por completo. ¿Qué ocurre con una patata entera?

Para entender mejor la física del proceso, recordemos que la temperatura constituye una medida del grado de agitación molecular. En concreto, resulta proporcional a la energía cinética media de traslación de los átomos o moléculas de la sustancia. Esto nos permite establecer una correspondencia entre lento y frío, y rápido y caliente.

Asimismo, cuando se ponen en contacto dos cuerpos a temperaturas distintas, las moléculas del cuerpo caliente comienzan a colisionar con las del frío. Y, dado que las primeras se mueven más rápido que las segundas, les ceden parte de su energía. Este proceso implica un flujo energético que procede de las regiones calientes a las frías, el cual resulta proporcional a la diferencia de temperatura por unidad de longitud. El cociente de proporcionalidad, conocido como conductividad térmica del material, es tanto mayor cuanto mejor se propaga el calor por la sustancia en cuestión.

Flujo cambiante

Para entender cómo evoluciona la temperatura, sigamos paso a paso lo que ocurre cuando sumergimos un cuerpo frío (la patata de nuestro ejemplo) en un baño térmico caliente (el agua hirviendo). Al principio la diferencia de temperatura entre uno y otro será considerable, por lo que el flujo de energía será intenso.

Sin embargo, y al contrario de lo que ocurre en una onda mecánica, no toda la energía se transmite de una región a otra, ya que una parte se invierte en calentar la zona que se halla en contacto directo con el baño térmico. Dicha zona, que retrasa el calentamiento de las regiones situadas más allá, será tanto más extensa cuanta más energía térmica pueda almacenar el material; es decir, cuanto mayor sea su capacidad calorífica.

Así pues, la drástica diferencia inicial de temperatura entre el agua y la patata dará paso a un gradiente menos abrupto en la proximidad de la superficie de contacto. El flujo de energía disminuirá, pues las diferencias de energía entre las moléculas vecinas serán también menores.

Poco a poco se calentarán capas cada vez más profundas del tubérculo, pero el gradiente de temperatura será cada vez más suave y el flujo de calor desde la zona caliente disminuirá. Puede demostrarse que, en las proximidades de una superficie de contacto plana, la profundidad alcanzada por la variación de la temperatura crece como la raíz cuadrada del producto del tiempo transcurrido por la «difusividad térmica», definida como el cociente de la conductividad térmica del material y su capacidad calorífica por unidad de volumen.

Aunque la situación que acabamos de describir se encuentra sin duda simplificada, describe razonablemente bien lo

que ocurre en aquellos materiales donde el movimiento conjunto de las moléculas o el desplazamiento de los fluidos se ven muy limitados. Tal es el caso de la mayoría de los alimentos, al menos en una primera aproximación, a pesar de su gran contenido en agua.

Para obtener estimaciones útiles, debemos predecir la evolución de la temperatura en el centro del alimento y relacionarla con la temperatura de cocción. Para una patata, la difusividad térmica asciende a unos $1{,}7 \times 10^{-7}$ metros al cuadrado por segundo. A partir de este valor, puede calcularse la evolución temporal de la temperatura en el interior de la patata en función de su tamaño (*véase la gráfica*). Como cabría esperar, vemos que el frente de temperatura avanza con lentitud al inicio de la cocción, si bien progresa con mayor rapidez al llegar a las capas más internas. Ello se debe a que, a medida que se acerca al centro, cada vez hay menos materia que calentar.



Tamaño y tiempo de cocción

Podemos entender con facilidad qué ocurre con una patata de gran tamaño. A partir de cierto diámetro, el tiempo necesario para que el centro del alimento alcance la temperatura de cocción rebasa los 16 minutos. Sin embargo, a partir de entonces la capa externa del tubérculo comenzará a deshacerse. Las simulaciones permiten determinar el tamaño máximo de los trozos, el cual resulta ser del orden de unos 3 centímetros. Así pues, quien desee cocer patatas de la manera adecuada no podrá conseguirlo sin usar el cuchillo.

El mismo tipo de principios rigen la cocción de los asados de carne, para los cuales las recomendaciones del tipo «un cuarto de hora por cada medio kilo» son, en el mejor de los casos, muy aproximadas. La experiencia demuestra que, a igual peso o volumen, asar una pieza alargada y de poco diámetro requiere menos tiempo que hacer lo propio con una más compacta. En efecto, cuanto menor sea su diámetro, menos tiempo hará falta para que el centro del alimento alcance la temperatura necesaria. Por otro lado, el tiempo de cocción de una pieza más alargada pero del mismo diámetro no variará mucho.

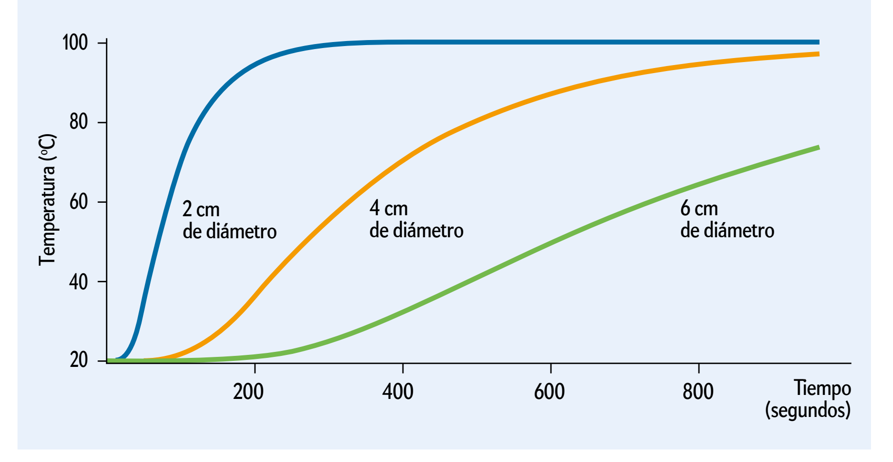
¿Y qué ocurre con los huevos de avestruz? En principio no necesitamos largos cálculos, puesto que conocemos el tiempo de cocción de un huevo de gallina y podemos aplicar lo que los físicos denominan una «ley de escala». La cocción de un huevo pasado por agua debe durar el tiempo necesario para que la clara alcance la temperatura adecuada hasta la frontera con la yema. Dado que todos los huevos tienen aproximadamente la misma forma, ese tiempo sigue siendo proporcional al cuadrado de su tamaño.

Podemos comprobar esta ley con el tiempo de cocción de un huevo de codorniz: unos 30 segundos para uno de 2 centímetros (más bien grande). Si la aplicamos a uno de avestruz, tres veces mayor que uno de gallina, esperaríamos un tiempo de cocción multiplicado por $3^2 = 9$: un valor cercano a la media hora, no tan distante del recomendado.

No obstante, nuestra estimación se queda algo corta. ¿A qué se debe? ¿A las diferencias en la composición de los dos tipos de huevo, o al efecto de introducir un huevo de avestruz, de unos 1,5 kilogramos, en la temperatura del agua o en su homogeneización en el recipiente? Dejamos estas cuestiones a la sagacidad del lector.

TEMPERATURA CENTRAL

ESTAS CURVAS representan, en función del tiempo y del diámetro del alimento, la temperatura en el centro de una patata inicialmente a 20 grados sumergida en agua hirviendo. Cuanto más gruesa es la hortaliza, más tarda su interior en comenzar a calentarse. Para una patata de 6 centímetros de diámetro, la temperatura mínima de cocción (65 grados) no se alcanza hasta los 800 segundos, o más de 13 minutos. Por tanto, cuando el centro del tubérculo se cueza, su parte externa habrá comenzado a deshacerse.



PARA SABER MÁS

Transient heat transfer in a boiled potato: A study related to food process engineering. P. M. Derbyshire e I. Owen en *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 9, págs. 254-256, 1988.

How long does it take to boil an egg? A simple approach to the energy transfer equation. P. Roura, J. Fort y J. Saurina en *European Journal of Physics*, vol. 21, págs. 95-100, 2000.

EN NUESTRO ARCHIVO

La olla a presión. Pere Castells en *IyC*, octubre de 2018.

José Manuel Sánchez Ron es miembro de la Real Academia Española y catedrático de historia de la ciencia en el Departamento de Física Teórica de la Universidad Autónoma de Madrid.



HISTORIA DE LA CIENCIA

Oliver Lodge y la relatividad

O los problemas que tuvo la «vieja guardia» para entender la revolucionaria teoría de Einstein

José Manuel Sánchez Ron

Durante los tres primeros lustros del siglo XX se produjo una de las dos grandes revoluciones (la otra fue la cuántica) que conmocionaron el aparentemente sólido edificio de la física. Me refiero a la teoría de la relatividad; específicamente, la teoría de la relatividad especial (1905) y la teoría general de la relatividad (1915), ambas debidas a Albert Einstein. Si bien es posible argumentar —así se hace habitualmente— que las dos teorías (pero especialmente la relatividad especial) constituyeron la culminación de la «física clásica», ambas introdujeron elementos que chocaban con conceptos, o instrumentos matemáticos, afincados firmemente en la visión que de la física tenían hasta entonces la práctica totalidad de los físicos.

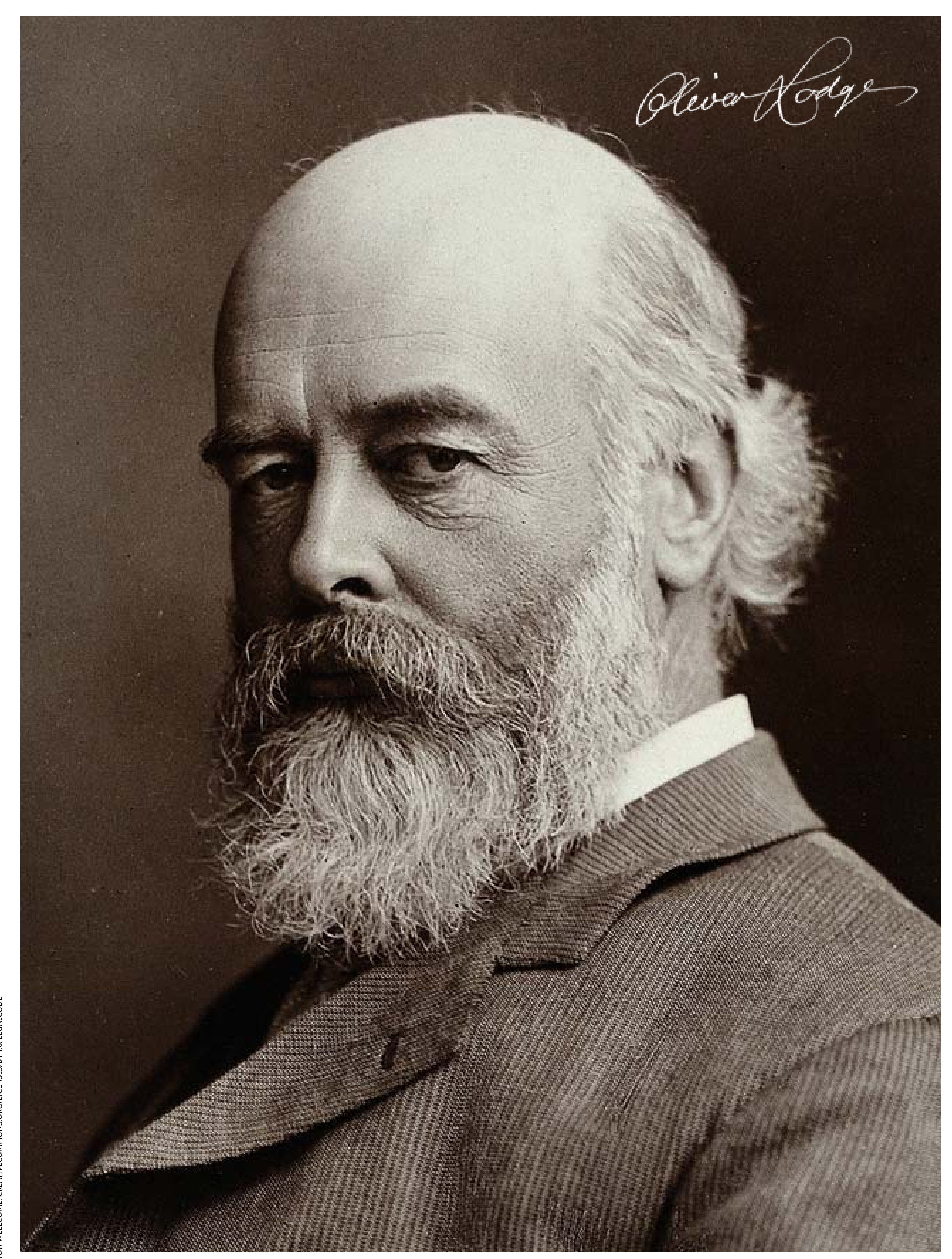
Hallamos un magnífico ejemplo de ello en Oliver Lodge (1851-1940), quien, después de licenciarse (1875) y doctorarse (1877) en el Colegio Universitario de Londres, desarrolló una notable carrera académica y científica que le llevó a figurar entre la élite de los físicos británicos. Fue catedrático (*professor*) de física y matemáticas en el Colegio Universitario de Liverpool de 1881 a 1900, momento en que abandonó el puesto para irse a la Universidad de Birmingham. Allí permaneció el resto de su carrera, durante la cual desempeñó funciones docentes y administrativas, y hasta su jubilación en 1919 (en 1898 la Real Sociedad le otorgó la prestigiosa medalla Rumford y en 1902 fue ennoblecido con el título de Sir).

El universo científico de Lodge se centró en el electromagnetismo, campo en el que fue un firme seguidor de la obra de James Clerk Maxwell, el creador, en la década de 1860, de la teoría del campo electromagnético. Fue lo que se ha denominado un maxwelliano. Y estuvo cerca de conseguir, antes que él, lo que Heinrich Hertz hizo en 1888: demostrar la existencia de la radiación (ondas) electromagnética.

El éter y la relatividad especial

Como buen maxwelliano, un concepto básico para Hertz era el de «campo» electromagnético o, más bien, el básicamente equivalente «éter», el medio a través del cual se transmitía, según Maxwell, la interacción electromagnética. Así, en el prefacio de un libro en el que pretendía resumir su filosofía, *My philosophy* (1933), Lodge escribió:

El del éter del espacio ha sido el estudio al que he dedicado mi vida, y constantemente he urgido que se le preste atención. He vivido a través de la época de lord Kelvin, con sus modelos mecánicos de un éter, hasta el día en que para algunos físicos el universo parece disolverse en matemáticas, y la idea de un éter resulta superflua, si no despreciable. Siempre tuve la intención de escribir algún día un tratado científico sobre el éter del espacio; pero cuando en mi ancianidad me puse a escribir este libro, me di cuenta de que el éter penetraba todas mis ideas, tanto las de este mundo como las del siguiente. Ya no podría mantener mi tratado dentro de los confines científicos; escapaba en todas las direcciones, y ahora ha crecido convirtiéndose en una afirmación completa de mi filosofía.



SIR OLIVER LODGE. Fotografía de Lafayette Ltd.

No era en absoluto Lodge el único físico británico tan apegado al concepto de éter. Muchos otros compartían semejante visión, entre ellos J. J. Thomson, director del Laboratorio Cavendish de Cambridge y el primero en identificar, en 1897, la existencia del electrón. En la conferencia inaugural que pronunció en el congreso de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia celebrado en Winnipeg en 1909, Thomson manifestaba: «El éter no es una creación fantástica del filósofo especulativo; es tan esencial para nosotros como el aire que respiramos».

Cuando Lodge estudió la teoría de la relatividad especial, topó con el problema de que esta no contemplaba el concepto de éter (o campo). Todo lo contrario, lo descartaba. Recordemos el párrafo que Einstein incluyó en la introducción a su artículo de 1905, «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento», en el que presentó la que luego se denominaría «teoría de la relatividad especial»: «La introducción de un "éter luminífero" se mostrará superflua, puesto que la idea que se va a desarrollar aquí no requerirá un "espacio en reposo absoluto" dotado de propiedades especiales, ni asigna un vector velocidad a un punto del espacio vacío donde están teniendo lugar procesos electromagnéticos».

Podemos apreciar lo que Lodge pensaba de esta teoría einsteiniana a través de una carta que envió el 21 de febrero de 1915 a su amigo Arthur Hill, con quien le unía un profundo interés por los supuestos fenómenos espiritistas (la escribió antes de que Einstein completase, en noviembre de aquel mismo año, la teoría general, cuyas imperfectas presentaciones anteriores es razonable pensar desconocía Lodge, ya que Einstein trabajaba en Alemania, y Lodge, en Inglaterra, naciones entonces enfrentadas en la que se denominaba «Gran Guerra», «Primera Guerra Mundial» después):

Con respecto al principio de relatividad, es un asunto mucho más técnico de lo que pueda pensar. Me temo que me tomaría demasiado explicarlo, aunque me gustaría ofrecerle un apunte. No es una cuestión de mecánica elemental sobre el movimiento relativo de un cuerpo con respecto a otro, es algo fundamental —parecida en este respecto a la disipación de la energía—. Se originó en Alemania [fue de hecho en Berna, Suiza, donde trabajaba entonces Einstein], pero ha captado la atención en muchas partes del mundo y se han escrito sobre ella extensos libros, así como mucha matemática, alguna de esta de alto nivel; pero para obtener alguna idea de ella no es necesario entrar en todo esto. Expresado brevemente, se puede decir que puede considerarse una revolución contra la existencia del éter del espacio, aunque también tiene que ver con las relaciones entre éter y materia. La velocidad de la luz es su dato fundamental, y se basa sobre todo en dos experimentos negativos que se oponen entre sí: uno llevado a cabo por Michelson y Morley en América, y otro, sobre el que se pone mucho menos énfasis, por mí mismo en Liverpool. Por «experimentos» no necesito decir que no me refiero a algo sencillo, sino al resultado de dos o tres años de trabajo en el laboratorio, y muchos aparatos especiales. El objetivo es averiguar si el éter se mueve con la Tierra o no. Mi experimento dice «no»; el de Michelson y Morley supuestamente dice «sí».

Pero existe una salida por la puerta trasera para esto; y por esa puerta trasera fuimos algunos. Larmor, por ejemplo, y Poynting y yo. Sin embargo, la gente de la «relatividad», inicialmente Einstein en Alemania, cerró de golpe esa puerta trasera, y no dijo «sí», pero abrió una nueva salida: que el éter no existe o, al menos, que nunca podremos saber nada de él; que todo lo que podríamos saber jamás es el movimiento relativo de materia con respecto a materia; y que el movimiento absoluto, o el movimiento con respecto a algo, no la materia, no tiene sentido. A lo cual yo respondo, popularmente, «entonces Galileo sufrió en vano».

Y después de algunos comentarios más, añadía:

Al hablar de Einstein y de otros defensores de la doctrina, debo añadir que son matemáticos y gente brillante, y no deben ser dejados de lado a la ligera; esto es lo que ha causado que su doctrina se haya afirmado.

Seguramente Einstein (y también su antiguo profesor en el Politécnico de Zúrich, Hermann Minkowski) habría sonreído al ser considerado un brillante matemático, ya que su formulación de la relatividad especial no requirió altas matemáticas, como se puede apreciar simplemente ojeando «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento» —la relatividad general fue otra cosa.

En lo que se refiere a los experimentos que Lodge mencionaba (que hicieron mucho por impulsar su reputación como un brillante físico experimental y cuyos resultados publicó entre 1891 y 1893), terminaron siendo entendidos en términos de la propia teoría de la relatividad especial, la formulación que contenía elementos que él pretendía refutar.

La relatividad general

En noviembre de 1915, Einstein completó la búsqueda de una teoría relativista de la gravitación, a la que se había dedicado plenamente a partir de 1911. La mayoría de los físicos de élite de la época la aceptaron y admiraron. A la cabeza de ellos, el más respetado de todos, Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), que, a pesar de lo mucho que estaba entroncado con la física del siglo XIX, había sabido adaptarse y entender la nueva física, hasta tal punto que sus opiniones eran apreciadas y buscadas por sus colegas. Aunque Lorentz tardó en aceptar la relatividad especial, no ocurrió lo mismo con la relatividad general, como podemos ver por el siguiente párrafo de una carta que su discípulo Adriaan Fokker escribía a Niels Bohr el 3 de febrero de 1916, poco después de que Einstein llegase a su solución definitiva:

Recientemente Einstein ha acabado su teoría de la gravitación. Encontró la manera de poner sus ecuaciones en una forma absolutamente covariante y de explicar el movimiento secular del perihelio de Mercurio. Lorentz se ha entusiasmado mucho [con la teoría de Einstein] después de un período de duda y cálculos de prueba. Ehrenfest [sucesor de Lorentz en la cátedra de este en Leiden] cree que tal vez después de cien años se demostrará que el descubrimiento de Einstein ha tenido, con mucho, más importancia que esta guerra [la Primera Guerra Mundial] sin final.

Al contrario de Lorentz, que siempre supo adaptarse y contribuir al desarrollo de la nueva física, no pocos miembros de

la «vieja guardia» fueron incapaces de abandonar totalmente el marco de la física decimonónica. Un ejemplo lo proporcionan Joseph Larmor (1857-1942), catedrático lucasiano en Cambridge (la cátedra que había ocupado Newton), y Lodge. El 20 de octubre de 1916, Larmor escribía a Lodge:

Einstein está tan poco satisfecho con un éter y el movimiento relativo con respecto a él que ha hecho del campo gravitacional una modificación del espacio que lo rodea [...] Y nuestro amigo Lorentz está fascinado por ello, más bien como un ejercicio matemático que como una teoría filosófica.

Larmor, producto del exigente Mathematical Tripos de Cambridge, no tenía dificultades con la matemática (la geometría riemanniana o el cálculo tensorial) de la relatividad general, pero sí con su contenido. Diferente, y no exento de cierto dramatismo, era el caso de Lodge. En una fecha tan tardía como el 27 de mayo de 1929, Lodge confesaba a Edmund Whittaker, catedrático en la Universidad de Edimburgo, sus problemas con la nueva física, basados en sus carencias matemáticas:

Le agradezco que me haya enviado su conferencia titulada «¿Qué es la energía?» [que Whittaker pronunció en la Sociedad de Física de la Universidad de Edimburgo el 16 de marzo de 1929]. Pero estoy aterrado al encontrar que no puedo seguirla, esto es, entenderla, en absoluto. Más bien me sorprende que haya que introducir tensores en relación con algo tan fundamental como la energía. Ni siquiera sé lo que es un tensor. Sé que un vector es un escalar con dirección además de magnitud. Uno ha tenido que acostumbrarse a los vectores. Supongo que un tensor es un vector con algo añadido. Pero ¿qué? ¿Es un giro, o lo que Robert Ball llamaba un tirón? A mi edad ya no voy a aprender el cálculo tensorial pase lo que pase. Y estoy muy sorprendido de que la conservación de la energía tenga que mezclarse con la conservación del momento para hacer un enunciado completo [...]

Es la parte final de su conferencia la que me hace desesperar de entender la visión moderna. Siento que, más tarde o más temprano, debe haber una manera más simple de especificar cosas fundamentales. Matrices y tensores no son el tipo de armas matemáticas que yo pueda imaginar que utilice la posteridad con satisfacción, incluso si son necesidades provisionales. Pero veo que usted va más allá de las necesidades provisionales y no nos saca del barrizal preparado por Dirac y otros [un año antes, Paul Dirac había utilizado matrices en su ecuación relativista del electrón]. Hay muy poco consuelo en admitir que la materia es una forma de energía, si la energía resulta no ser nada concreto sino solo una abstracción matemática.

«Ni siquiera sé lo que es un tensor», decía. Así que, ¿cómo iba a poder entender la relatividad general?

Aparte de ignorancia matemática, había también una antipatía muy británica por las teorías «meramente matemáticas». Como la mayoría de los científicos del siglo XIX, Lodge pensaba que uno debería entender los fenómenos naturales a la manera (dinámica) de la física «tradicional», no desposeyendo de significado físico a los conceptos usados por esta, dejándola en manos «puramente matemáticas». Así, confesaba a Larmor el 9 de septiembre de 1922:

El análisis matemático deja correctamente el mundo detrás y se eleva a una región propia. Un escritor en el suplemento literario de The Times *ha dicho recientemente que la música hace lo mismo, y de forma bastante iluminadora comenta que esta es la razón por la que puede haber niños prodigio en música y en matemáticas que no tienen posibilidad de experiencia real. La relatividad nos enfrenta al intento de enlazar estos vuelos matemáticos con el hecho físico. Es extraño que los fenómenos físicos se permitan ser expresados de esta manera. Pero no puede ser la única. Debe de haber también un método dinámico. Pero hasta que hayamos desarrollado la dinámica del éter, encontramos que podemos proceder por métodos no dinámicos, precisamente como MacCullagh encontró hace tiempo.*

(Lodge se refería aquí a James MacCullagh, quien desarrolló en 1839 una teoría dinámica del éter en la que introdujo un nuevo tipo de sólido elástico.)

En cierto sentido, Lodge se veía a sí mismo y a Larmor como misioneros en una tierra extraña, la tierra de la física matemática y la relatividad expresada matemáticamente. Su obligación era dar sentido físico a la teoría: «Era seguro», escribía también en la última carta mencionada, «que el matrimonio intentado entre la física genuina y la hipergeometría iba a llevar a confusiones. Sin duda se resolverán, básicamente quizá con nuestra ayuda. Pues yo no conozco a nadie más que pueda empuñar ambas armas con igual facilidad».

Sin embargo, a pesar de sus lagunas matemáticas e ignorancia del contenido físico de la relatividad general, Lodge no dudaba en entrar en discusiones con otros acerca de lo que significaba la teoría o de cuáles eran sus consecuencias. Es una suerte que fuera un hombre de este tipo, pues nos ayuda a descubrir lo que pensaban sobre la relatividad ya en 1917 otros científicos británicos como James Jeans. En respuesta a una carta de Lodge, el 14 de agosto de 1917 Jeans (físico, astrónomo y matemático muy laureado) afirmaba:

Estoy totalmente de acuerdo respecto a la complejidad de la presentación de la relatividad. Einstein no es un matemático adiestrado o sospecho que podría haber presentado mucho mejor todo el tema.

PARA SABER MÁS

Letters from Sir Oliver Lodge: Psychical, religious, scientific and personal. Edición de J. Arthur Hill. Cassell and Co., Londres, 1932.

Past years: An autobiography. Oliver Lodge. Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1932.

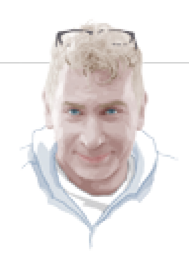
My philosophy: Representing my views on the many functions of the ether of space. Oliver Lodge. Ernest Benn, Londres, 1933.

Experimenting on the ether: Oliver J. Lodge and the great whirling machine. Bruce Hunt en *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 16, n.º 1, págs. 111-134, 1986.

Larmor versus general relativity. José Manuel Sánchez Ron en *The expanding worlds of general relativity*. Dirigido por Hubert Goenner et al. Birkhäuser, Boston, 1999.

por Bartolo Luque

Bartolo Luque es físico y profesor de matemáticas en la Universidad Politécnica de Madrid, donde investiga en teoría de sistemas complejos. Actualmente dirige la colección de libros *Grandes ideas de las matemáticas*, de Ediciones El País.



Cálculos no newtonianos

Las curiosas consecuencias de generalizar la noción tradicional de derivada

Imagine que nos dicen que una población de 1000 individuos crece en un año hasta los 1200. Con solo esta información, podríamos suponer que nos encontramos ante una tasa de crecimiento aditiva de 200 individuos al año. En tal caso estaríamos barruntando como modelo de crecimiento la siguiente función lineal:

$$f(t) = 1000 + 200\,t\,.$$

La derivada de esta función es

$$f'(t) = 200\,,$$

justamente la tasa aditiva de crecimiento. Nada extraño, puesto que, tal y como aprendemos en la secundaria, la derivada de una función nos da su tasa de cambio instantáneo (que en este sencillo caso resulta ser independiente de t).

Sin embargo, con la misma información podríamos haber interpretado que la población crece un 20 por ciento anual; es decir, a un ritmo geométrico que cada año multiplica la población por 1,2. En tal caso ya no estaríamos postulando un modelo de crecimiento lineal, sino exponencial:

$$g(t) = 1000 \cdot 1{,}2^t\,,$$

con lo que la tasa de cambio instantáneo vendría dada por

$$g'(t) = 1000 \cdot \log(1{,}2) \cdot 1{,}2^t\,.$$

Aquí la derivada ya no es constante, sino que depende del tiempo t.

Tanto 200 como 1,2 son tasas de cambio, pero mientras que la primera es aditiva, la segunda es multiplicativa. ¿Podríamos definir una «derivada» de tal modo que, al aplicarla al modelo multiplicativo, arrojara 1,2 para todo t?

Como veremos, la respuesta es afirmativa y sorprendentemente sencilla. Este tipo de generalizaciones de la noción de derivada fueron estudiadas en los años sesenta del siglo pasado y proporcionan todo un abanico de «cálculos» alternativos al tradicional, el concebido en el siglo XVII por Newton y Leibniz. Además de proporcionar una estupenda herramienta didáctica en la enseñanza del cálculo, existen varias aplicaciones en las que estas variantes resultan más eficientes que su versión clásica.

Una nueva derivada

Denotemos con una estrella (*) nuestra nueva derivada. Para una función lineal,

$$f(t) = B + A\,t\,,$$

la derivada tradicional nos da

$$f'(t) = A\,.$$

Ahora deseamos que para la función

$$g(t) = B \cdot A^t$$

nuestra «derivada*» valga

$$g^*(t) = A\,.$$

Recordemos que la derivada de una función f en un punto t se define como el límite:

$$f'(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{f(t+\Delta t) - f(t)}{\Delta t}\,.$$

Observemos que este cociente es un promedio aritmético: por ejemplo, si Δt fueran 3 años, estaríamos calculando la tasa de crecimiento como el valor medio anual de la variación de la población en esos tres años. Así pues, dado que con nuestra derivada* pretendemos obtener tasas geométricas de crecimiento, parece natural usar promedios geométricos en vez de aritméticos.

Para calcular un promedio geométrico, en vez de restar los valores de la función en $(t + 3)$ y t y dividir entre 3, calculamos el cociente entre esos mismos valores y extraemos su raíz cúbica; es decir, elevamos a 1/3. Iluminados por esta feliz idea, podemos examinar qué ocurre si en la definición clásica de derivada cambiamos las restas por cocientes y las multiplicaciones por exponenciaciones.

Si definimos la derivada* de una función $g(t)$ (con $g(t)$ positiva) como el límite

$$g^*(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left[\frac{g(t+\Delta t)}{g(t)}\right]^{\frac{1}{\Delta t}}\,,$$

veremos que, en efecto, su valor para nuestro modelo multiplicativo $g(t) = B \cdot A^t$ arrojará la constante A:

$$g^*(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left[\frac{B \cdot A^{t+\Delta t}}{B \cdot A^t}\right]^{\frac{1}{\Delta t}} = \lim_{\Delta t \to 0} \left(A^{\Delta t}\right)^{\frac{1}{\Delta t}} = A\,.$$

Hemos conseguido que nuestra derivada* extraiga la parte constante en el crecimiento de una función exponencial: el factor que dicta su aumento por unidad de tiempo. Observemos que B (la población inicial) es irrelevante para nuestra derivada*, tal y como ocurría en el caso lineal con la derivada estándar.

A partir de esta definición en forma de límite, es casi directo deducir que, para una función constante, $g(t) = B$, obtenemos $g^*(t) = 1$. De hecho, podemos construir una tabla de derivadas* para las funciones usuales similar a la que memorizamos cuando aprendemos a derivar. Para obtenerlas, podemos sortear el cálculo del límite usando la siguiente relación entre la derivada* y la derivada estándar:

$$g^*(t) = \exp\left(\frac{g'(t)}{g(t)}\right)\,.$$

Esta igualdad resulta muy fácil de demostrar a partir de la identidad

$$g^*(t) = \exp\left[\log g^*(t)\right]$$

y de la definición de $g^*(t)$.

Entre otras cosas, el lector puede también demostrar que las derivadas* de un producto y un cociente de funciones valen

$$[f(t) \cdot g(t)]^* = f^*(t) \cdot g^*(t)\,,$$
$$[f(t) / g(t)]^* = f^*(t) / g^*(t)\,,$$

expresiones mucho más sencillas que sus análogas clásicas. Sin embargo, no ocurrirá lo mismo con la derivada* de una suma de funciones. ¿Y cómo quedará la derivada* de una función compuesta o de una exponenciación de funciones?

Un nuevo cálculo

Podemos seguir jugando y construir también una integral* tal que, si $F^*(t) = f(t)$, entonces

$$\int f(t)^{dt} = k \cdot F(t) .$$

Donde, para distinguirla de la integral usual, el diferencial dt aparece exponenciando en lugar de multiplicando, y la constante arbitraria k aparece multiplicando en vez de sumando.

Podemos construir también tablas de integrales* y analizar sus propiedades. En particular, es un ejercicio interesante demostrar que se cumple un equivalente al teorema fundamental del cálculo:

$$\int_a^b f(t)^{dt} = \frac{F(b)}{F(a)} .$$

Para demostrarlo, piense en cómo definir un producto equivalente a la suma de Riemann.

Llegados a este punto, el lector ya sospechará que con esta derivada* e integral* podemos reformular los teoremas clásicos del cálculo. Por ejemplo, el teorema del valor medio nos dice que, si vamos de Madrid a Barcelona en coche, en algún instante nuestra velocidad instantánea coincidirá con la velocidad media: si $f(t)$ es continua en el intervalo $[a,b]$ y diferenciable en (a,b), entonces existe un valor c entre a y b para el que se cumple que

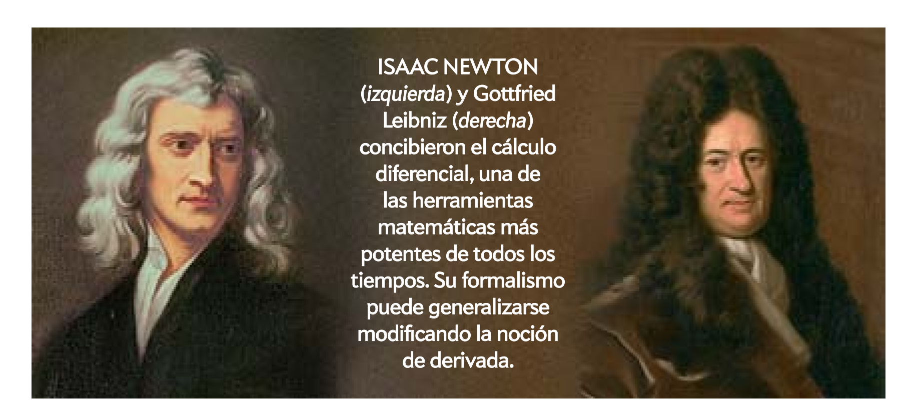
$$f'(c) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a} .$$

Usando la relación entre $f^*(c)$ y $f'(c)$ y aplicando el teorema del valor medio a la función $\log f(t)$, obtenemos que existe un número c entre a y b tal que

$$f^*(c) = \left(\frac{f(b)}{f(a)}\right)^{\frac{1}{b-a}} .$$

Comparar los teoremas del cálculo tradicional y sus equivalentes con estrella constituye un ejercicio de enorme valor didáctico. E interpretarlos desde un punto de vista aplicado proporciona un entendimiento mucho más general y profundo. Por ejemplo, el homólogo al teorema del valor medio aplicado a retornos financieros nos dice que, en un intervalo de tiempo dado, siempre hay un instante en el que la tasa de retorno instantánea coincide con la promedio.

Es más, en ciertas situaciones, este nuevo cálculo resulta más eficiente que el tradicional. Por ejemplo, el desarrollo de Taylor a primer orden de $f(t)$ en $t = a$ es



ISAAC NEWTON (*izquierda*) y Gottfried Leibniz (*derecha*) concibieron el cálculo diferencial, una de las herramientas matemáticas más potentes de todos los tiempos. Su formalismo puede generalizarse modificando la noción de derivada.

$$L(t) = f(a) + f'(a)(t-a) ,$$

una aproximación lineal a la función. Es fácil demostrar que su homólogo con estrella nos proporciona una aproximación exponencial:

$$E(t) = f(a) \cdot f^*(a)^{t-a} .$$

Y, si las representamos, veremos que la aproximación exponencial es más precisa que la lineal para la función $f(t) = t^2$ (aunque por supuesto eso no ocurre siempre: piense por ejemplo en el caso de una función lineal). ¿Sabría decir el lector cuál debe ser la naturaleza de $f(t)$ para que esto se cumpla? ¿Podría mejorar este enfoque algunos esquemas numéricos de resolución de ecuaciones?

Otras variantes

Acabamos de describir someramente el cálculo geométrico, también llamado multiplicativo. Sin embargo, este no es más que uno entre los múltiples «cálculos no newtonianos» que entre 1967 y 1970 crearon los matemáticos Michael Grossman y Robert Katz. En 1972 ambos publicaron la obra *Non-Newtonian calculus*, donde discutían hasta nueve variantes, planteaban una teoría general y consideraban distintas aplicaciones.

Al igual que en el cálculo tradicional, en todos ellos se define un «promedio natural», una derivada tal que su valor sea constante para cierta clase de funciones, y una integral que actúa como operador inverso. Por ejemplo, la conocida como «derivada bigeométrica» se define como

$$g^*(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left[\frac{g((1+\Delta t)\cdot t)}{g(t)}\right]^{\frac{1}{\Delta t}} .$$

En este caso, la relación con la derivada habitual queda en

$$g^*(t) = \exp\left(\frac{t \cdot g'(t)}{g(t)}\right) ,$$

donde ahora el cociente le resultará familiar a los economistas, ya que representa el concepto de elasticidad: si la función $g(t)$ denota las ventas de un producto (g) en función de su precio (t), la elasticidad nos dice cuánto cambiarán en porcentaje las ventas (dg/g) en relación a una variación porcentual del precio (dt/t).

¿Sabría el lector determinar qué familia de funciones $g(t)$ arrojan un valor constante cuando aplicamos esta nueva noción de derivada? Pues espero llamar la atención de mis colegas de sistemas complejos, porque se trata de nuestras queridas funciones potenciales:

$$g(t) = B \cdot t^{\alpha} .$$

A lo que añado, para acabar, esta cita del matemático Wojbor Woyczynski: «Los fractales aleatorios, una de las grandes ideas del siglo xx, surgen como modelos naturales de varios fenómenos físicos, biológicos (piense en el plato favorito de su madre: coliflor) y económicos (piense en Wall Street y los casinos), y se pueden caracterizar en términos matemáticos a través del concepto de dimensión fractal. Sorprendentemente, su evolución temporal puede analizarse empleando un cálculo no newtoniano». Woyczynski se refiere justamente al cálculo bigeométrico, cuya derivada es invariante de escala.

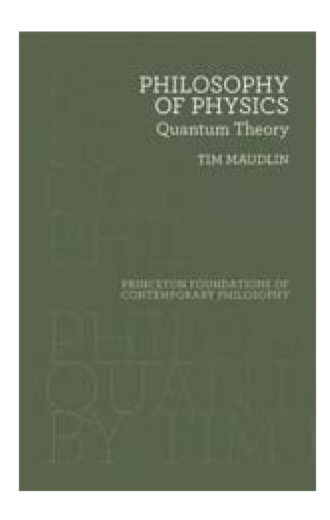
PARA SABER MÁS

Non-Newtonian calculus. Michael Grossman y Robert Katz. Lee Press, 1972.

Bigeometric calculus: A system with a scale-free derivative. Michael Grossman. Archimedes Foundation, 1983.

A multiplicative calculus. Dick Stanley en Primus: *Problems, Resources, and Issues in Mathematics Undergraduate Studies*, vol. 9, n.º 4, págs. 310-326, 1999.

Non-Newtonian calculus. Michael Grossman y Robert Katz en **https://sites.google.com/site/nonnewtoniancalculus/Home**



PHILOSOPHY OF PHYSICS
QUANTUM THEORY
Tim Maudlin
Princeton University Press, 2019

Filosofías alternativas

Ontología y dinámica de tres variantes exóticas de la teoría cuántica

En 2018, el físico Carlo Rovelli, del Centro de Física Teórica de la Universidad de Aix-Marsella, publicó un interesante artículo en la revista *Foundations of Physics* titulado «La física necesita a la filosofía. La filosofía necesita a la física». Para la mayoría de los físicos, la segunda frase del título no requiere mayor aclaración. Sin embargo, muchos estarán en total desacuerdo con la primera. El latiguillo «eso es filosofía» funciona casi como un insulto en esos foros. Unos pocos físicos decimos con la boca pequeña que nos gusta la filosofía; pero, en realidad, tampoco sabemos muy bien qué queremos decir con eso, más allá de expresar nuestro gusto por las charlas de cafetería desenfadadas (es decir, aquellas en las que no escribimos ecuaciones en los manteles).

Nuestro desconocimiento de los usos y prácticas de la filosofía profesional es tal que estoy seguro de que muchos colegas no me creerían si les digo que este *Philosophy of physics* está lleno de fórmulas. No solo eso: tiene ejercicios al final de cada tema y una maravillosa nota al pie en la página 71 en la que se invita al lector a hacer los cálculos, ya que así alcanzará «un sentido de éxito y comprensión que no puede conseguirse de otra manera». («Contar», decía Josep Pla en *Viaje en autobús*, «es comprender», y se refería a contar números, no cuentos.) Y sin embargo, si hacemos caso a Rovelli, los físicos modernos deberíamos interesarnos más por la filosofía, tal y como en su día hicieron nuestros predecesores, ya que, lo sepamos o no, lo que ha provocado que la física fundamental se atasque en las últimas décadas ha sido una mala digestión de las ideas de Karl Popper y Thomas Kuhn. De ahí el enorme interés con que he leído este libro de Tim Maudlin, filósofo de la ciencia de la Universidad de Nueva York.

Por desgracia, con la física cuántica siempre ocurren cosas insólitas. Por ejemplo, uno esperaría que un libro que lleva por título *Filosofía de la física: Teoría cuántica* se dedique, efectivamente, a hacer filosofía de la física cuántica. Sin embargo, pronto se nos aclara que no será así: aquello que la inmensa mayoría de quienes nos dedicamos a ella entendemos por física cuántica no es una teoría, según Maudlin, sino una «receta», ya que no posee una ontología (una idea sobre «lo que es») ni una dinámica («lo que hace»). Naturalmente, Maudlin está equivocado, y por eso el libro nace herido de muerte.

La teoría cuántica al uso tiene una ontología muy clara, solo que con una característica novedosa: las propiedades de los sistemas físicos que trata no se encuentran completamente definidas, sino que quedan descritas por probabilidades. El autor tiene razón cuando critica que los físicos nos refiramos a ello en términos de «realismo» (decimos que la física cuántica «no es realista»), lo cual es completamente erróneo desde el punto de vista filosófico. Sin embargo, que nuestra ignorancia nos lleve a usar mal una etiqueta no invalida el hecho en sí. Analizar sus consecuencias ontológicas sería realmente útil e interesante, pero Maudlin ha decidido que no merece la pena. En cuanto a que la teoría cuántica no tiene una dinámica definida, ¿qué otra cosa sería si no la ecuación de Schrödinger?

Pero si no es de física cuántica tal y como la conocemos, ¿de qué habla entonces este libro? Pues bien, de tres tipos de modificaciones o variantes de la teoría, más o menos exóticas y marginales: la teoría de Ghirardi-Rimini-Weber (GRW) sobre el colapso de la función de onda, la mecánica bohmiana y la llamada teoría de muchos mundos. Estas variantes satisfacen al profesor Maudlin por su ontología y por su dinámica, pero me da la impresión de que se ha olvidado, no ya de Popper, sino del compositor estadounidense Cole Porter («Experimenta / que sea tu lema día y noche / Experimenta / y llegarás a la luz»). ¿Qué dicen los experimentos?

Las teorías del tipo GRW explican el llamado colapso de la función de onda mediante una ligera modificación de la teoría cuántica habitual. Dicha modificación causaría que el colapso fuese un proceso físico real que ocurre de manera espontánea, aunque muy improbable para una partícula elemental a menos que esta interaccione con un sistema compuesto por un gran número de partículas (como un aparato de medida). De alguna manera, eso «explicaría» el colapso de la función de onda cuando se lleva a cabo una medición.

Esa corrección a la mecánica cuántica usual resulta tan minúscula que no produciría ninguna modificación observable en los experimentos habituales. Sin embargo, debería poder detectarse en experimentos diseñados a tal efecto. A esa tarea se han dedicado varios grupos desde hace unos cuantos años, hasta hoy sin éxito alguno. Además, en caso de que finalmente apareciese un resultado positivo, la teoría cuántica tradicional incorporaría muy fácilmente dicha modificación, que no cambiaría ninguno de sus rasgos básicos (incluida la característica ontológica mencionada más arriba), aunque sí arrojaría más luz sobre el proceso de medida.

El caso de la mecánica bohmiana es distinto. En esta teoría la posición de una partícula se encuentra siempre bien definida, por lo que pertenece a la clase de teorías conocidas como «de variables ocultas». Así pues, en caso de ser cierta, la mecánica bohmiana sí implicaría un cambio radical en los principios de la física cuántica. Los experimentos basados en las desigualdades de Bell han descartado una y otra vez las teorías basadas en variables ocultas «locales»; es decir, aquellas en las que la información no puede viajar a velocidades mayores que la de la luz [*véase* «Acción fantasmal», por Ronald Hanson y Krister Shalm; Investigación y Ciencia, febrero de 2019]. De manera que, para poder explicar los expe-

rimentos, las teorías de variables ocultas deben permitir que la información viaje a velocidades superlumínicas, algo que va contra lo que observamos en la naturaleza y que impediría que pudiéramos combinar estas teorías con la relatividad especial de Einstein para producir un equivalente a la exitosa teoría cuántica de campos.

Conviene aquí hacer una aclaración, ya que es un error grave de Maudlin y de la pequeña comunidad de físicos bohmianos: aunque a veces se diga que el entrelazamiento cuántico —y, por extensión, la mecánica cuántica— es «no local», en mecánica cuántica nunca hay una transmisión de información instantánea o superlumínica. Por tanto, la mecánica cuántica es perfectamente local en el sentido del término que estamos manejando aquí. Esta confusión terminológica hace que Maudlin y otros autores sigan creyendo posible defender una teoría de variables ocultas, como la de Bohm o cualquier otra, y mantener al mismo tiempo un acuerdo razonable con los experimentos. No obstante, están equivocados.

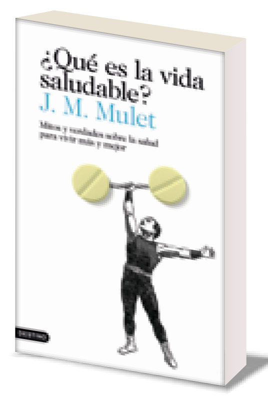
Por último, la teoría de muchos mundos, con sus múltiples universos, es, por definición, imposible de verificar experimentalmente, ya que solo tenemos acceso a un universo: el nuestro. Como consecuencia, no es más que una interpretación exótica de la teoría usual.

Así que, en resumen, tenemos un modelo que nadie ha conseguido comprobar por medio de los experimentos, otro que ha sido rechazado por ellos y un tercero que nunca podrá ser puesto a prueba experimentalmente. Y a esto, una vez más, le hemos dedicado un libro entero. Nuestra para muchos odiosa pero tozuda y longeva teoría cuántica, con su chaleco a prueba de experimentos, imaginamos que tendrá que seguir esperando mejor ocasión.

—*Carlos Sabín*
Instituto de Física Fundamental
CSIC

NOVEDADES

Una selección de los editores de *Investigación y Ciencia*



¿QUÉ ES LA VIDA SALUDABLE?
MITOS Y VERDADES SOBRE LA SALUD PARA VIVIR MÁS Y MEJOR

J. M. Mulet
Destino, 2019
ISBN: 978-84-233-5603-4
256 págs. (17,90 €)

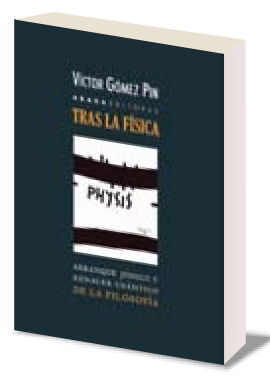


¡QUE LE DEN A LA CIENCIA!
SUPERSTICIONES, PSEUDOCIENCIAS, BULOS... DESMONTADOS CON PENSAMIENTO CRÍTICO

Rocío Vidal
Plan B, 2019
ISBN: 9788417809065
256 págs. (16,90 €)

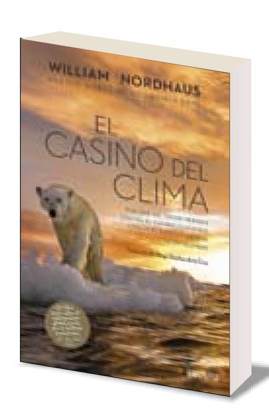
TRAS LA FÍSICA
ARRANQUE JÓNICO Y RENACER CUÁNTICO DE LA FILOSOFÍA

Víctor Gómez Pin
Abada Editores, 2019
ISBN: 978-84-17301-15-6
646 págs. (28 €)



EL CASINO DEL CLIMA
POR QUÉ NO TOMAR MEDIDAS CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO CONLLEVA RIESGO Y GENERA INCERTIDUMBRE

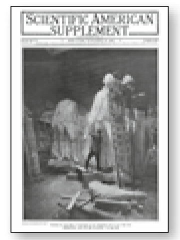
William Nordhaus
Deusto, 2109
ISBN: 978-84-234-3074-1
448 págs. (19,95 €)



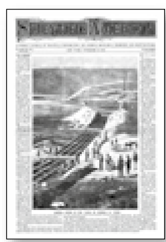
Recopilación de Daniel C. Schlenoff

NOVIEMBRE

1969



1919



1869

1969

Respiración asistida

«El fallo respiratorio ya es reversible en gran número de casos si se recurre al tratamiento apropiado. De este se dispone en las unidades de cuidados respiratorios intensivos: unas instalaciones hospitalarias dotadas del equipo adecuado dirigidas por una nueva clase de especialista médico, el intensivista, y a cargo de grupos de médicos especializados. La creciente capacidad del cuidado respiratorio intensivo es el resultado del cada vez más vivo diálogo entre los fisiólogos de la respiración y los médicos que tratan a los pacientes. Los datos disponibles desde hace tiempo se están aplicando ahora, mediante intervención directa, para conservar la vida de pacientes en estado crítico. El tratamiento de los fallos respiratorios agudos está probablemente tan cerca de constituirse en ciencia cuantitativa como hoy pueda estarlo cualquier campo de la medicina clínica. En esta situación, la medición precisa se aproxima o supera en importancia al "ojo clínico", que durante muchos años ha sido la cualidad más apreciada en los buenos médicos.»

1919

Alegres montañeros

«En Francia, las tareas para convertir las espadas en arados incluyen hacer de los tanques algo aprovechable en tiempos de paz. Algunos se han empleado para remolcar barcazas fluviales; otros se han transformado en tractores agrícolas; otros han acabado en las fábricas. Pero sin duda la solución más innovadora son los tanques montañeros, ahora a disposición de los turistas en los Alpes de la Saboya francesa. Despojados de las planchas de blindaje y del equipo de combate y provistos de asientos, se convierten en unos vehículos de pasajeros excelentes para recorrer terrenos agrestes. La ilustración da una idea de las emociones de un paseo en un tanque alpinista.»



1919: Un antiguo tanque de guerra reconvertido en vehículo todoterreno para diversión de turistas.

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. CXXI, N.º 21, 22 DE NOVIEMBRE DE 1919

Caballos al paro

«Los criadores profesionales de caballos siguen impulsando su negocio, pero ello es solo como silbar para no desanimarse. Los días del caballo como bestia de carga están contados. El automóvil está desplazando al caballo de los coches; el camión está desplazando al caballo de las carretas; y el tractor agrícola está desbancando al caballo de labor. Tampoco hay razones para lamentar esta situación. Todos admitimos que el caballo es uno de los animales más nobles; y esa es una muy buena razón para que nos alegremos por su futura emancipación de una vida de servidumbre y sufrimiento. Este es, desde luego, el lado humanitario del asunto; pero el lado económico se ajusta más a los hechos: en el mundo las máquinas van a facilitar y abaratar más que nunca los trabajos duros. El 1 de enero de 1920 se habrá prescindido de, al menos, el 50 por ciento de los caballos.»

1869

Vacunación

«En el *New York Times* apareció hace poco un artículo que ataca con dureza a la vacuna, al destacar que propaga la enfermedad y que resulta del todo ineficaz como prevención ante la viruela. Ese escrito representaba unas opiniones que sobre el tema hoy sostienen muchos. En un artículo a favor de la vacunación, *The London Lancet* hace los siguientes comentarios: "Lo cierto es que las únicas personas perjudicadas por la Ley de Vacunación Obligatoria son los médicos. A estos no hay enfermedad que les rinda más que la viruela. Un buen ataque de ella convierte a un adulto, o a un niño, en un paciente para un mes entero".»

La broma del «gigante de Cardiff»

«Carta de John F. Boynton, geólogo, al profesor Henry Morton, de la Universidad de Pensilvania: "Estimado señor: El pasado sábado, unos obreros que estaban cavando un pozo en la propiedad de W. C. Newell, a unos 20 kilómetros de Cardiff, encontraron a un metro de la superficie del suelo, y en posición horizontal, lo que ellos creyeron el 'cuerpo petrificado' de un ser humano de enorme tamaño. Su estatura supera los tres metros, y las demás medidas del cuerpo están en consonancia. El hallazgo ha provocado una emoción inmensa y sin precedentes en esta localidad. Durante los últimos tres días, ha recibido miles de visitantes.

Un examen cuidadoso me ha convencido de que no es un fósil, sino una pieza tallada de yeso estratificado. Probablemente proceda de algún lugar de este condado [Onondaga, Nueva York], de alguno de nuestros yacimientos de yeso. Mi conclusión acerca de por qué se depositó esa estatua en este lugar es la siguiente: se trataba de ocultarla y protegerla de un enemigo que, de haberla descubierto, la habría destruido".»

La estatua en realidad había sido esculpida un año antes bajo la dirección de un tal George Hull como broma o burla, y había sido enterrada en la propiedad de su pariente William C. Newell.



EVOLUCIÓN

Monstruos del cielo mesozoico

Michael B. Habib

Los fósiles y los modelos matemáticos están ayudando a responder viejas cuestiones sobre los pterosaurios.

HISTORIA DE LA CIENCIA

Las matemáticas de Leonardo da Vinci

Pedro J. Miana

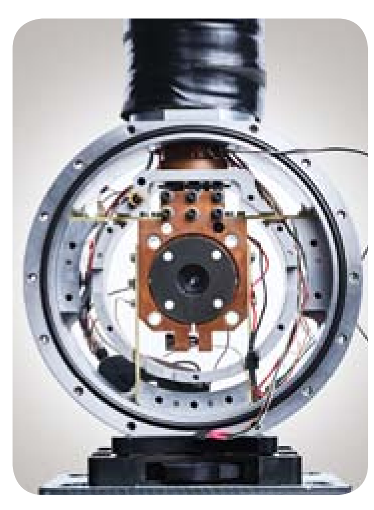
Al intentar entender las matemáticas para plasmar la realidad, este genio universal se adelantó casi cien años al método científico y al pensamiento de Galileo.

NEUROCIENCIA

¿Es reversible la muerte?

Christof Koch

Un experimento en el que se ha reanimado parcialmente el cerebro de cerdos abre interrogantes sobre el momento preciso en el que termina la vida.



FÍSICA

Hacia la superconductividad a temperatura ambiente

Bob Henderson

¿Podrán los nuevos avances teóricos y computacionales materializar este escurridizo sueño?

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
DIRECTORA EDITORIAL
Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz
DIRECTOR DE MÁRQUETIN Y VENTAS
Antoni Jiménez Arnay
DESARROLLO DIGITAL
Bruna Espar Gasset
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
SECRETARÍA Eva Rodríguez Veiga
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN
ACTING EDITOR IN CHIEF Curtis Brainard
PRESIDENT Dean Sanderson
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek

Difusión controlada

DISTRIBUCIÓN
para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca - Trigo, 39 - Edificio B
28914 Leganés (Madrid)
Tel. 916 657 158
para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona

PUBLICIDAD
Prensa Científica, S. A.
Teléfono 934 143 344
publicidad@investigacionyciencia.es

ATENCIÓN AL CLIENTE
Teléfono 935 952 368
contacto@investigacionyciencia.es

Precios de suscripción:

	España	Extranjero
Un año	75,00 €	110,00 €
Dos años	140,00 €	210,00 €

Ejemplares sueltos: 6,90 euros
El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

COLABORADORES DE ESTE NÚMERO
Asesoramiento y traducción:
Fabio Teixidó: *Apuntes, ¿Por qué confiamos en mentiras?, La búsqueda de respuestas en periodismo de datos y Comunicar la incertidumbre*; Andrés Martínez: *Apuntes, Un banco de peces fosilizado y La construcción cerebral de la realidad*; Alfredo Marcos: *La lógica de la creatividad científica*; José Óscar Hernández Sendín: *Presentación y Caos en las redes sociales*; Miguel A. Vázquez Mozo: *A las puertas de la realidad*; Javier Grande: *¿Son reales las matemáticas?*; Pedro Pacheco González: *Los animales también mienten*; Marián Beltrán: *Corrupción contagiosa e Identidad y populismo*; Federico Fernández Gil: *Decidir en la incertidumbre*; J. Vilardell: *¿Cuánto tarda en cocerse un huevo de avestruz? y Hace...*

ISSN edición impresa 0210-136X Dep. legal: B-38.999-76
ISSN edición electrónica 2385-5665

Imprime Rotimpres - Pla de l'Estany s/n - Pol. Ind. Casa Nova 17181 Aiguaviva (Girona)

Printed in Spain - Impreso en España